

道路ネットワーク上の交通荷重情報収集 を目的とした車重計の配置方法

関谷 浩孝¹・田名部 淳²・前田 雅人³・岡本 直久⁴・石田 東生⁵

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail: sekiya-h92tb@mlit.go.jp

²正会員 株式会社 地域未来研究所 (〒530-0003 大阪市北区堂島1-5-17)
E-mail: tanabe@refrec.jp

³正会員 株式会社 地域未来研究所 (〒530-0003 大阪市北区堂島1-5-17)
E-mail: maeda@refrec.jp

⁴正会員 筑波大学教授 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail: okamoto@sk.tsukuba.ac.jp

⁵正会員 筑波大学教授 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1)
E-mail: ishida@sk.tsukuba.ac.jp

本研究は、道路構造物損傷の主要因である「大型貨物車の交通荷重」の情報を効率的に収集するための、道路ネットワークにおける車重計の配置方法に関する知見を得ることを目的とする。3つの配置方法(I「交通量」、II「走行経路」、III「走行経路および車両重量」の情報を活用した配置方法)を提案し、道路交通センサスOD調査で取得された個々の車両の重量や発着地などの情報を用いて千葉県南部地域の実道路ネットワークを対象に、配置方法の効率性を比較分析した。この結果、「交通量」といった地点毎の簡易的な情報に基づいて配置箇所を選定する方法と比較して、「経路」および「重量」といった個々の車両に関する詳細な情報に基づいて配置箇所を選定することで、収集できる交通荷重情報の量が4倍程度になることなどを示した。

Key Words : arrangement method, road network, heavy vehicle, weigh in motion

1. はじめに

2012年の中央自動車道笹子トンネルにおける天井版崩落事故が象徴するように、道路構造物の劣化や老朽化の問題が顕在化している。特に橋梁については、高度経済成長期に建設された多くの橋梁が間もなく寿命を迎えることから、今後、多大な修繕・更新(架替え)費用が必要になることが予測されている。少子高齢化に伴って社会保障関係費が増加する中、既存の構造物を健全に保ち、かつ新規の社会資本整備を計画的に行っていくには、こういった修繕・更新費用を真に抑制することが求められる。このためには、損傷が深刻化した後に大規模な修繕を行う「事後保全型」に代わり、損傷が初期の段階から軽微な手当を行う「予防保全型」の維持修繕を積極的に実施することが重要である^{1),2)}。これにより、構造物の新設から廃止に至るまでの総費用(ライフ

サイクルコスト)を削減することができる。例えば東京都では、予防保全型の維持修繕を導入することで今後30年間の橋梁の修繕・更新費用が約1/3(1.6兆円→0.5兆円)になると試算している³⁾。

予防保全を適切に実施するには、まず損傷等の異常を早期に発見することが何より重要である。しかしながら橋梁(橋長2m以上)は全国で約70万橋あり、これらを定期的に点検するには多大な人手と費用が必要となる。このことから、民間や大学などの研究機関において点検作業の省力化や効率化を目的とした技術開発が行われている。例えば最近では、遠隔操作で高所にある部材を近影するだけでなく、打音検査まで行う飛行式ロボットの開発も行われるようになった⁴⁾。さらには、これらの新技術の実用性を確認する現場実験や評価を行う委員会^{5),6)}や産学官のメンバーで構成するコンソーシアム⁷⁾を設立するなど、産学官が連携して道路構造物の損傷を効率

的かつ的確に把握しようとする取組が行われている。

翻って、上記のように損傷そのものを直接把握する方法に加え、「損傷の要因となる事象」を計測し、損傷の程度を間接的に把握する方法を開発することは有益であると考えられる。橋梁の架替え理由の約7割は「疲労損傷」であり⁸⁾、この疲労損傷の要因は「交通荷重」であることが既往研究^{9), 10), 11)}で明らかにされている。三木¹²⁾は、重量車両による交通荷重を把握することが疲労損傷の対策検討の基本的事項であることを指摘している。宮村¹³⁾は、道路インフラの健全な長寿命化には交通荷重の適正管理が最も重要であると述べている。

この交通荷重を把握する方法については多数の研究^{14)~21)}が行われており、そのほとんどは車両が橋梁を走行する際の部材の応答(ひずみや支点反力など)から交通重量を推計する方法を扱うものである。しかしこれにはいくつか課題がある。まず、複数の車両が同時に橋梁を通過する場合や低速走行時に、交通荷重を正確に計測することができないことを鈴木²²⁾や石尾¹⁵⁾が指摘している。さらに、この方法を適用できるのは橋梁区間のみに限られるという課題もある。橋梁でない「一般部区間」でも重量車両の走行に起因する「わだち掘れ」や「路面・路盤損傷」が問題となっているが、既往研究の方法ではこういった区間における交通荷重を把握することができない。

そこで、ICT(情報通信技術: Information and Communication Technology)を活用して交通荷重情報を効率的に収集する方法を考えてみる。国土交通省は、直轄国道の本線上に車両重量自動計測装置(以下「車重計」という。)を配置し、2008年から走行車両の「重量データ」の収集を行っている。さらに、GNSS(全地球航法衛星システム: Global Navigation Satellite System)の測位情報を用いたETC2.0サービスや商用車運行管理サービスにより、特に2010年以降、走行車両の「位置データ」を大量に取得できるようになった。また、これらの位置データを道路交通の実態把握に活用する研究^{23), 24), 25)}も多数見られる。つまり、走行時の「重量データ」と「位置データ」といった道路ネットワーク上の交通荷重を把握するために必要な基礎データが取得されている。しかし、現在これらのデータが関連付けられていないため、車重計を配置していない区間では交通荷重を把握することができない(図-1左)。ここで「重量データ」と「位置データ」とを関連付けることにより、車重計を通過する車両(車両3及び車両4)については、車重計を配置していない区間においても交

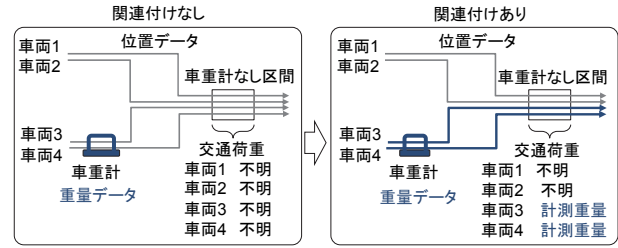


図-1 重量データと位置データとの関連付け

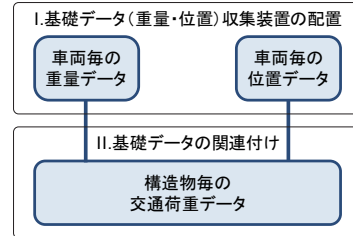


図-2 交通荷重情報の収集方法



図-3 対象エリアのイメージ

通荷重を把握することが可能になる(図-1右)。

そこで図-2に示すような手順で「車重計で収集する重量データ」と「ETC2.0サービスなどで収集する車両の位置データ」とを関連付けて道路ネットワーク上の構造物にかかる交通荷重を把握する施策を考える。「I.基礎データ収集装置の配置」では、政策的に与えられる「交通荷重情報収集の対象エリア」や「収集量の目標値」などに応じて、基礎データ(重量・位置データ)の収集装置を道路ネットワーク上に配置する。「II.基礎データの関連付け」では、収集した重量データと位置データとを関連付けることにより個々の車両の走行経路上の交通荷重を把握し、構造物毎に交通荷重データを作成する。なお対象エリアは、全国幹線旅客純流動調査などで用いられる「207生活圏ゾーン²⁶⁾」程度の大きさで、半島地域など効率的に車両を捕捉できるエリアとすることを想定している(図-3)。また、将来の貨物輸送需要や大型貨物車の交通状況を確実に予測できないことなどから、各エリアには車重計を年に1箇所ずつ逐次的に建設(配置)することを想定している。

本研究では、京葉臨海工業地帯を抱える千葉県南部地域を検討対象エリアとし、このエリアにおける

構造物の交通荷重データを効率的に収集する方策を提案する。以下、上記の施策を実務に展開しようとする際に必要となる研究事項を検討し、本研究における具体的な目的を述べる。

基礎データのうち「重量データ」を収集する車重計の配置数は全国で40箇所に留まる。このため、千葉県南部地域など車重計が一つも配置されていない地域がある。また、これらの車重計は「重量違反車両の検知」を目的とした箇所に配置されていることから、「交通荷重情報を効率的に収集する」という観点での配置方法について研究を行う必要があると考える。

一方、「位置データ」の収集装置については車重計と状況が異なる。商用車運行管理サービスでは携帯電話網を利用して位置データを収集していることから、道路ネットワーク上に収集装置を配置する必要がない。ETC2.0サービスについては路側に収集装置を配置する必要があるものの、既に高速道路上に約1,600基、一般道路上に1,800基が配置されている。このことから、位置データについては道路ネットワーク上での収集装置よりも「位置の特定を行うために必要な車載器を搭載している車両の割合の影響が大き」と考える。そこで「I.基礎データ収集装置の配置」については車重計のみを対象とし、以下に具体的な研究目的を示す。

(1) 車重計の適切な配置方法

より多くの交通荷重情報を収集するには、どのように車重計を配置したらよいかを考えてみる。まず構造物損傷への影響という点では、重量が大きい車両を数多く捕捉できる箇所に配置することが望ましい。また、少ない車重計で多くの構造物上の交通荷重を把握するという点では、走行距離の長い車両を数多く捕捉できる箇所に配置することが望ましい。このような配置箇所を選定しようとする、個々の車両の「重量」や「走行経路」を把握するための調査が必要となる。一方、上記のような重量車両や走行距離の長い車両は、どの区間にも一定の割合で走行していることを想定し、単に交通量の多い箇所に車重計を配置するという方法もある。この場合「地点毎の交通量」のみを調査すればよいことから、前者に比べて調査の負担が小さくて済むというメリットがある。しかし「交通荷重情報の収集量」が少なくなることが懸念される。

このため、「交通量」といった地点毎の総量を表す情報に基づいて箇所選定を行う場合と、「経路」、「重量」のような個々の車両に着目した詳細な情報に基

づいて箇所選定を行う場合とで「交通荷重情報の収集量」にどの程度の差が生じるかを明らかにしておくことは意義がある。この結果「交通荷重情報の収集量」に差がない場合は、交通量のみを調査すれば済むことになる。これは、実務で配置箇所の選定を行う際の有益な情報になると考える。そこで研究目的1として次を掲げる：交通量、経路及び重量を指標として複数の配置方法の効率性を評価し、車重計の適切な配置方法に関する知見を得る。

(2) 逐次決定と同時決定の比較

本研究での逐次決定と同時決定の扱いを考えてみる。上述した施策では、検討対象エリアに車重計を年に1箇所ずつ配置することから、「逐次決定」による配置方法を用いることが望ましい。これは、 $n-1$ 箇所目までの施設の配置状況を所与として n 箇所目の配置箇所を決定するものである。例えば図-4に示すように、まず道路ネットワークや大型貨物車交通の発生・集中量の地域分布(以下「OD分布」という。)などから、最も多くの交通荷重情報を収集できる箇所に車重計を配置する。そしてその翌年に、その時点でのOD分布などに基づき2つ目の車重計の配置箇所を決定する。このように逐次決定は、物流施設配置の変化などに伴ってOD分布が変化する場合にも適切な配置箇所を選定することができるというメリットがある。

ところが、車重計の配置を行う期間(例えば図-4の2016~2020年の5年間)において、OD分布などが大きく変化しない場合、選定された5つの配置箇所が必ずしも最適解であるとは限らない。この場合、常に最適解を得ることができる「同時決定」を用いる方が有利となる。これは、施設が何も配置されていない状況から n 個の施設の配置箇所を一度に決定するものである。例えば図-4では、2016年に5つの配置箇所を決定し、2020年まで年に1箇所ずつ配置していく。このため、OD分布などが変化しない場合にも「逐次決定」で箇所選定を行っても問題ないことを確認しておく必要があると考える。

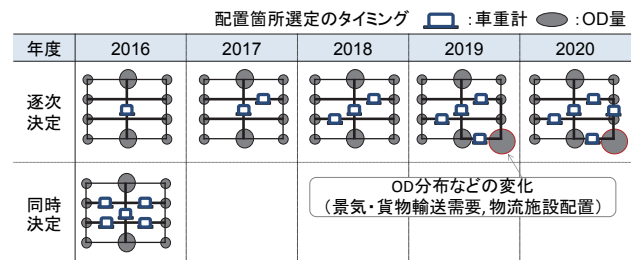


図-4 逐次決定と同時決定による配置箇所の選定

そこで研究目的2として次を掲げる：逐次決定と同時決定とで得られる交通荷重情報の量を比較し、逐次決定により箇所選定を行うことの妥当性を確認する。

2. 配置方法に関する既往研究との比較

「起点と終点を固定したトリップ」を対象にした施設の配置方法に関する研究には、2つのタイプがある。1つは商業施設等の「需要型の施設」を対象とし、施設の位置に応じて利用者が経路を変更することを前提とした研究である。もう1つは広告等の「捕捉型の施設」を対象とし、施設の位置によって経路が変わらないことを前提とする、いわゆるカバリング型の問題を扱う研究である。

前者には、通勤の途中で立ち寄る託児所の配置方法を扱った研究²⁷⁾がある。この研究では、託児所に立ち寄るために必要となる追加的な所要時間の総和を最小にする配置方法を提案している。斎藤ら²⁸⁾は、仮想的な円形都市を用いて、競合店舗が既に配置されている状況で、客数を最大にするための最適な新規店舗の配置方法を提案している。鈴木²⁹⁾は、東京都市圏パーソントリップ調査³⁰⁾大ゾーン24ゾーンを対象に、職住割当て問題とフロー需要施設配置問題を合成した問題として、都市内の流動を最小化すると同時に利用者の移動距離を最小化する拠点配置問題を定式化している。また、鈴木³¹⁾の別の研究では、一次元都市モデルと三角格子状ネットワークを用い、迂回距離の総和を最小にする施設の配置方法モデルを扱い、その最適配置の基本的特性を明らかにしている。

後者には、危険物輸送車の調査箇所の配置方法に関するHodgsonらによる研究³²⁾がある。この研究では、他の走行車両への影響を小さくするという観点から、より起点に近い箇所で車両を捕捉するほうが有利であるという条件で、捕捉可能な車両台数を最大にする配置方法を提案している。Hodgsonによる別の研究³³⁾では、道路ネットワーク上に広告を設置する箇所を選定する問題を扱っている。この研究では、同一のドライバーが経路上で目にする広告の数に応じて広告の設置効果が大きくなることをモデル化して、広告の効果を最大にする配置方法を提案している。田中、古田による研究³⁴⁾では大都市交通センサス³⁵⁾で得られた通勤流動に関するデータを用い、京王電鉄の6路線69駅を対象に、広告を設置する鉄道駅を選定する方法を扱っている。この研究では、

駅毎に異なる施設の設置コストを設定し、一定の資金制約下で設置される施設により捕捉することが可能な利用者数を最大にする配置方法をモデル化している。

本研究では、後者のHodgsonらが提案しているカバリング型の施設配置問題を基本に、これの応用として車重計の配置方法を扱う。既往研究では、ネットワーク上に配置される施設により捕捉することが可能な車両や鉄道利用者の数に着目し、これらを最大にする配置方法を検討している。これに対し本研究は、捕捉する車両の台数そのものでなく、捕捉する車両のトリップに着目し、トリップの走行距離やトリップ上の交通荷重といった複数の指標を用いて、車重計の配置方法の効率性を定量的に示すことを特徴とする。

また、ネットワーク上の施設の最適配置を検討する際、施設での捕捉対象(車両や人)がネットワーク上をどのように動いているかを正確に推計することは重要な事項であると考えられる。ところが意外にも、捕捉対象の流動を明示的に扱った研究はほとんど見られない。例えば、上述の危険物輸送車の調査箇所の配置計画を扱うHodgsonの研究では、全ての車両がODペア間の最短距離経路を走行するとして最適配置問題を解いている(図-5左)。捕捉対象を普通車とする場合は、簡易的に最短距離経路や最小時間経路を用いても問題ないかもしれない。しかし危険物輸送車は、事故遭遇の可能性の小さい道路区間を走行するなど距離以外の要因を加味して道路ネットワーク上を走行していると考えられる。また、普通貨物車と小型貨物車を対象にした物流ターミナルの最適配置問題を扱う谷口ら³⁶⁾や山田ら³⁷⁾の研究では、同じ配分手法を用いてこれらの車両の流動を推計している。車体の大きな普通貨物車は、端末集配用の小型貨物車とは異なる経路選択特性を有すると考えるが、上記の研究ではこのことが考慮されていない。

これに対し本研究は、筆者らの既往研究³⁸⁾で構築した「大型貨物車の経路選択特性を考慮した経路選択モデル」を用いて推計する走行経路を対象に施設の配置方法を扱う(図-5右)。さらに、上記のHodgsonの研究をはじめとする多くの既往研究では、ODペア間の走行経路は1つに留まる。これに対し本研究で

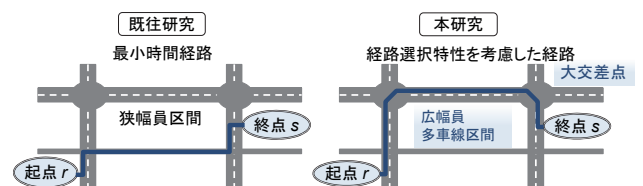


図-5 配置方法の検討で用いる経路のイメージ

は、「容量制約付きの5段階の分割配分法」を用いることでODペア毎に最大5経路設定する。この際、大型貨物車以外の車両も道路ネットワーク上で同時に扱い、これらによるリンク速度の低下も考慮することとする。これは、既往研究で疎かにされていた「捕捉対象の流動特性」に着目して配置問題を検討しようとする新たなアプローチであり、今後の最適配置の研究における基礎データ（捕捉対象の流動）の位置づけや設定方法に示唆を与える意義があると考える。

3. 走行経路および交通荷重の推計

配置方法の検討を行うには、まず「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路と交通荷重」を推計しておく必要がある。これを行うことで、「どこに車重計を配置するとどれだけの量の車両を捕捉できるか」、「どれだけの延長をもったトリップを捕捉できるか」、「どれだけの量の交通荷重情報を収集できるか」を把握することができる。そこで本章は、(1)において基礎条件を設定し、分析に必要となる道路ネットワークデータ及びトリップ OD データを作成する。(2)では、経路選択モデルを用いて、検討対象エリアを発着する個々の車両の走行経路を推計する。(3)では、対応する車両の重量を与えることにより、個々の車両の走行経路上の交通荷重を算定する。

(1) 基礎条件の設定

a) 分析対象

本研究では、道路構造物の損傷に与える影響が大きい大型の貨物車に着目し、これらの交通荷重情報の収集方法を扱う。このため、最大積載重量5トン以上の「普通貨物車」及び「特殊車」を分析対象とする。平成22年度道路交通センサス OD 調査で得られた車種別のトリップ数(表-1)を見ると、これらの車両のトリップ数は貨物車全体の約8% (=6.52+1.57)を占める。

道路については、一般道のうち大型貨物車の走行量の多い「一般国道(自動車専用道路を除く)」及び「都道府県道」を分析対象とする。つまり、「市町村道」は対象としない(市町村道における上記の大型貨物車の走行量(台キロ)が一般道全体に占める割合は0.48%であることが既往研究³⁹⁾で示されている)。なお、高速道路は高速のサービスを提供するために高速道路会社や地方道路公社等による高度な管理が行われていることから対象としない。

表-1 貨物車の車種別トリップ数(全国)

車種		トリップ (千/日)	構成割合
小型車	軽貨物車	18,959	48.89%
	小型貨物車	8,464	21.83%
大型車	普通貨物車	最大積載重量: 5トン以上	2,528
		最大積載重量: 5トン未満	4,807
		最大積載重量: 不明	104
	特殊車	最大積載重量: 5トン以上	608
		最大積載重量: 5トン未満	2,891
		最大積載重量: 不明	418
計		38,779	100.00%

表-2 各種調査の比較

	プローブ情報	道路交通センサスOD調査	物流センサス	東京都市圏物資流動調査
走行時の車両重量	× 不明	○ 走行時の積載重量等	△1台あたり重量が不明	
起点・終点		○ 施設間流動	× 純流動	
起終点間の走行経路	○ 走行軌跡	× 不明 → 経路選択モデルによる経路の推計		

道路構造物は大きく次の4つに分類される:舗装, 橋梁, トンネル及び土工構造物。このうち本研究は、交通荷重に起因する損傷が問題となる「舗装」及び「橋梁」を対象とする。

b) 走行経路及び交通荷重推計のデータソース

本項では「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路及び交通荷重の推計」に用いるデータソースを選定する。この推計を行うには、「走行時の車両重量」、「起点・終点」及び「起終点間の走行経路」に関する情報が必要になる。

表-2に示すとおり、ETC2.0サービス及び商用車運行管理サービス等のプローブ情報では、個々の車両について「起点・終点」及び「起終点間の走行経路」に関する情報を取得できる。しかし、「走行時の車両重量」を把握することができない。

一方、道路交通センサス OD 調査では、「走行時の車両重量」として「運行時の積載重量」及び「最大積載重量」並びに「起点・終点」を把握できるものの、「起終点間の走行経路」を把握することができない。ただし、1日の輸送経路の起点、終点、立寄り箇所、利用した高速道路インターチェンジ名等、「走行経路上の点に関する情報」を把握することができる。このため経路選択モデルを用いることで「起終点間の走行経路」を推計することが可能である。しかも道路交通センサス OD 調査はサンプル調査であるものの、母集団推計用の拡大係数が設定されているため、検討対象エリアにおける全ての車両の走行経路や交通荷重の総量の推計を行うことが可能である。

「全国貨物純流動調査(物流センサス)」⁴⁰⁾でも貨物の輸送量を調査しており、秋期の3日間に出荷された貨物の届先地、輸送手段、品類、重量(届先地等

が同じ場合は3日間の合計値)を把握することができる。しかしこの調査が、車両ではなく貨物の流動に着目して行われていることから、各出荷品(3日間に出荷される重量の総量)が何台の車両によって輸送されたのかが示されていない。このため、貨物車の走行台数を把握しようとする、出荷重量を車両台数に変換する必要が生じる。例えば筆者の既往研究⁴¹⁾では、道路交通センサスOD調査から「品類別、発地県別の貨物車1台あたりの平均積載重量(台/トン)」を求め、「貨物車総走行台数」をコントロールトータルとした換算係数を算定することにより、貨物の流動量を「重量ベース」から「台数ベース」に変換している。また、OD量がいわゆる純流動として整理されているという問題もある。例えば、「製造業のA工場」から「輸送業者のB倉庫」を経て「卸売業者のC事業所」まで貨物が輸送される場合、純流動でのOD量は「起点:A工場→終点:C事業所」と整理され、実際の道路上の輸送ルートとは異なる。これは、純流動が「出荷と入荷を行う事業者(製造業,卸売業等)間の貨物流動」を表すためである(輸送事業者は、出入荷を行う事業者として扱われていない)。東京都圏物資流動調査⁴²⁾でも、OD量は上記同様に純流動で整理されている。これらのことから、道路交通センサスOD調査の結果を「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車の走行経路及び交通荷重の推計」のデータソースとすることとする。

c) 道路ネットワークデータ

検討対象エリア(千葉県南部地域)における道路ネットワークデータを作成した。本章では道路交通センサスOD調査で把握する「大型貨物車のOD量」を道路ネットワークに配分する。このため、これに必要な「車線数」及び「交差点の構造規格」を道路情報便覧より把握し「単路部リンク」及び「交差点リンク」にそれぞれ属性情報として付加した(図-6)。

また本章では「容量制約付き分割配分」を行う(3章(2)参照)。これは、リンクの交通量が増加するにつれて当該リンクの通過時間が増加することを考慮するものである。これに必要な「リンクの交通量とリンクの通過時間(旅行時間)との関係を表すリンクパフォーマンス関数」を各リンクに設定した(図-6)。リンクパフォーマンス関数には次に示すBPR関数⁴³⁾を用いた。

$$t_a(x_a) = t_a^0 \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_a}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

ここで x_a はリンク a の交通量、 $t_a(x_a)$ は交通量が x_a の場合のリンク a の所要時間である。 t_a^0 はリンク a

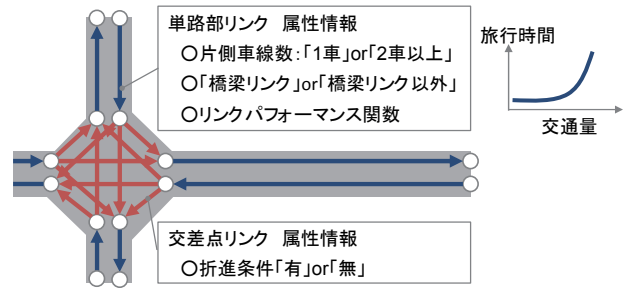


図-6 単路部リンク及び交差点リンク

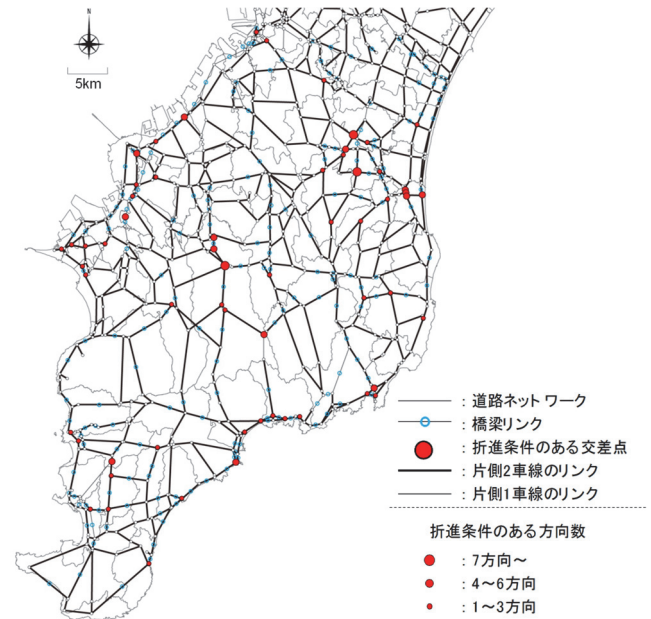


図-7 道路ネットワークデータ

における自由走行時の旅行時間で、規制速度から算定した。 C_a はリンク a の交通容量で、道路の種級区分及び車線数より設定した。 α 及び β はパラメータで「道路交通需要予測の理論と適用」⁴⁴⁾を参照し、それぞれ0.48及び2.82とした。

検討対象エリアの単路部リンク(方向別)の総数は1,014となった。このうち片側2車線以上のリンクは66(単路部リンク1,014の6.5%)、橋梁が存在するリンク(以下「橋梁リンク」という。)の数は181(単路部リンク1,014の17.9%)となった。交差点を表すノードの総数は340、このうち折進条件「有」の交差点の数は60(交差点の総数の17.6%)となった(方向別の交差点リンク数では163)。作成した道路ネットワークデータを図-7に示す。

d) トリップODデータ

平成22年道路交通センサスOD調査の基礎情報を収録したオーナーマスターデータから、「検討対象エリアを起点または終点とする大型貨物車のトリップ」を抽出した。1,213トリップが抽出され、各トリップ

表-3 トリップODの属性情報

車両整理番号	発ゾーン 着ゾーン
車種	乗車人員
ETC 車載器の有無	走行時の積載重量(kg)
最大積載量(kg)	高速道路利用有無
1日の走行距離(km)	乗IC名 降IC名
1日のトリップ数	拡大係数

表-4 大型貨物車トリップの発生集中量

	発生集中量	構成割合
千葉県 (検討対象エリア内)	72,420	70.71%
千葉県 (検討対象エリア外)	12,252	11.96%
茨城県	2,279	2.23%
栃木県	1,117	1.09%
群馬県	1,091	1.07%
埼玉県	3,050	2.98%
東京都	4,344	4.24%
神奈川県	1,982	1.94%
他 (1都6県外)	3,885	3.79%
計	102,420	100.00%

表-5 普通車トリップの発生集中量

	発生集中量	構成割合
千葉県 (検討対象エリア内)	2,984,828	92.68%
千葉県 (検討対象エリア外)	203,053	6.30%
茨城県	2,989	0.09%
栃木県	648	0.02%
群馬県	822	0.03%
埼玉県	3,441	0.11%
東京都	14,246	0.44%
神奈川県	9,550	0.30%
他 (1都6県外)	1,033	0.03%
計	3,220,610	100.00%

に表-3 に示す属性情報を付加した。なお、ここでの大型貨物車は最大積載重量 5 トン以上の「普通貨物車」及び「特殊車」とした。検討対象エリア内の発ゾーン及び着ゾーンは、市区町村 (B ゾーン) 単位の 52 ゾーンとした。表-3 に示すとおり、各トリップ OD には母集団推計のための拡大補正係数(最小4, 最大212, 平均41.6) が設定されている。これを用いると、1,213 トリップは 51,210 トリップに拡大補正された。これらの大型貨物車トリップの発生集中量を県単位で整理すると表-4 のとおりとなる。

本研究では大型貨物車の走行経路を推計する際、「大型貨物車以外の車両 (以下「普通車」という。) による速度低下」の影響を考慮する (3章(2)参照)。このため大型貨物車と同様に、検討対象エリアを発着する普通車についてもトリップ OD データを作成した。ここでの普通車は、「乗用車」「軽乗用車」「最大積載重量 5 トン未満の普通貨物車及び特殊車」「軽貨物車」及び「小型貨物車」とした。これらのトリップの発生集中量を表-5 に示す。

(2) 走行経路の推計

本節では、前節で作成したトリップ OD を道路ネットワークに配分することにより「検討対象エリアにおける大型貨物車の走行経路」を推計する。

a) 推計方法

大型貨物車は車線数の多い区間や折進のしやすい交差点を優先して走行する等、普通車とは経路選択特性が異なる。このため、大型貨物車と普通車の配分計算を異なる方法で行う。大型貨物車は、以下に示す筆者らの既往の研究³⁸⁾で構築した経路選択モデルを用いて探索する一般化費用最小経路に配分する。

$$C^{rs,m} = \sum_{a \in L^{rs,m}} t_a \times 1.195^{\delta_a} + \sum_{b \in L^{rs,m}} 18.174 \times \delta_b \quad (2)$$

ここで、 $C^{rs,m}$ はゾーン r を起点、ゾーン s を終点とする OD ペア rs ($\in \Omega$) の経路 m の一般化費用。 δ_a は単路部リンク a が片側 1 車線の場合を 1, 2 車線以上の場合を 0 とするダミー変数。 δ_b は交差点リンク b が折進条件のある規格の低い交差点リンクである場合を 1, その他の場合を 0 とするダミー変数。 Ω は OD ペア rs の集合、 $L^{rs,m}$ は OD ペア rs の経路 m に含まれるリンクの集合である。なお、上記の式は次を意味している: 「片側 1 車線の区間を走行する際、片側 2 車線以上の区間を走行する際に比べて 2 割程度大きな抵抗値 (所要時間) を感じている」、「折進時に通行条件を附される規格の低い交差点で折進することに対して、18 分程度の抵抗を感じている」。

普通車は、最短の移動時間で目的地に到達できる経路を選択することを想定し、最小時間経路への配分を行う。

異なる効用を持つ大型貨物車と普通車をネットワークに配分する際、収束計算を含む均衡配分等を用いるとアルゴリズムの構築が困難になる。そこで本章での分析には容量制約付き分割配分法 (Incremental Assignment (I.A.法))⁴⁵⁾を用いる。これは、道路整備後の交通流の変化の推計等、実務でよく用いられるものである。ただし、この分割配分法では、道路ネットワーク上の交通の厳密な均衡状態を得ることができない⁴⁶⁾。もし、車重計の建設箇所を選定するなど、箇所自体を問題とする場合は収束計算を含む詳細な配分方法を用いることが望ましいと考える。しかし、本研究は「車重計の適切な配置方法」などの知見を得ること目的とした分析を行うこととしており、この分析過程で得られる車重計の配置箇所そのものは何ら意味を持たない。このため、計算のしやすさを優先させて分割配分法 (交通量均等 5 分割) を用いる。

以下に示す手順により, 各 OD ペア間の走行経路及び各リンクの交通量を推計する. なお, 交通量均等5分割により経路探索を5回行うことから, 各 OD ペア rs では大型貨物車と普通車それぞれ最大5経路が選定される.

Step 0 : OD ペア rs における大型貨物車の OD 交通量を5等分したものを Q_{rs}^{Heavy} , 普通車の OD 交通量を5等分したものを $Q_{rs}^{Ordinary}$ とする. リンク a の交通量を0台 ($x_{a,0}=0$), リンク a の所要時間を自由流旅行時間とする. 配分ステージ h ($\in \{1,2,3,4,5\}$) を1とする.

Step 1 経路の特定: OD ペア rs の大型貨物車の一般化費用最小経路及び普通車の最小時間経路を次式で求める(式(3)は大型車, 式(4)は普通車).

$$C^{rs,m} = \sum_{a \in L^{rs,m}} t_a(x_{a,h-1}) \times 1.195^{\delta_a} + \sum_{b \in L^{rs,m}} 18.174 \times \delta_b \quad (3)$$

$$C^{rs,m} = \sum_{a \in L^{rs,m}} t_a(x_{a,h-1}) \quad (4)$$

ここで, $t_a(x_{a,h-1})$ は配分ステージ h での単路部リンク a の所要時間である. 選定された大型貨物車の走行経路を $f_{rs,h}^{Heavy}$, 普通車の走行経路を $f_{rs,h}^{Ordinary}$ とする.

Step 2 交通量の算定: 配分ステージ h での配分後のリンク a の交通量 $x_{a,h}$ を次式で算定する.

$$x_{a,h} = x_{a,h-1} + \sum_{rs \in \Omega} (E_a \times Q_{rs}^{Heavy} \times \delta_{a,rs,h}^{Heavy} + Q_{rs}^{Ordinary} \times \delta_{a,rs,h}^{Ordinary}) \quad (5)$$

ここで, $\delta_{a,rs,h}^{Heavy}$ はリンク a が大型貨物車の走行経路 $f_{rs,h}^{Heavy}$ に含まれる場合を1とするダミー変数. $\delta_{a,rs,h}^{Ordinary}$ はリンク a が普通車の走行経路 $f_{rs,h}^{Ordinary}$ に含まれる場合を1とするダミー変数である. E_a はリンク a における「大型車の乗用車換算係数」で, 車線数・沿道状況に応じて「道路の交通容量」⁴⁷⁾に従って設定した.

Step 3 リンク所要時間の算定: 配分ステージ h での配分後のリンク a の所要時間 $t_a(x_{a,h})$ を次式で算定する (3章(1)c)参照).

$$t_a(x_{a,h}) = t_a^0 \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_{a,h}}{C_a} \right)^\beta \right\} \quad (6)$$

Step 4 終了判定: 配分ステージ $h=5$ であれば終了. 他は $h=h+1$ として Step 1 に戻る.

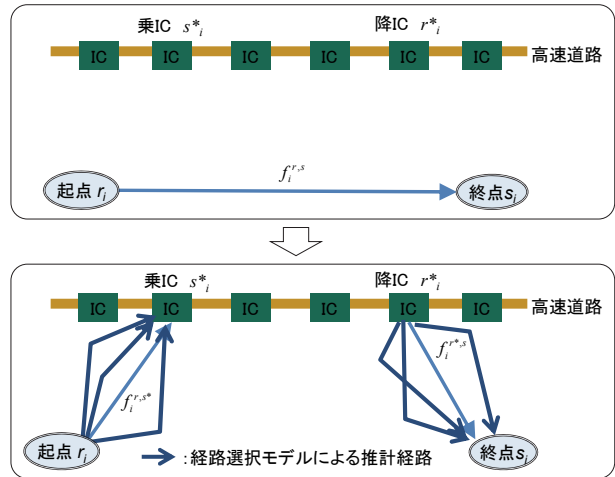


図-8 高速道路利用トリップでの一般道利用区間の抽出

b) 高速道路利用トリップにおける一般道路利用区間の抽出方法

高速道路を含む道路ネットワークにおける交通量を扱った研究では, 配分の初期段階で「高速道路を利用する経路」または「高速道路を利用しない経路」を選択する, いわゆる高速道路転換率を用いた二項ロジット型のモデルが, 松井・藤田⁴⁸⁾や雲林院ら⁴⁹⁾によって提案され, 実務でもよく用いられている. しかしこのモデルには, 通常では高速道路を利用することが現実的でないような場合でも, ロジット式に従って「高速道路を利用する経路」に交通量が配分されるという課題があることを井上ら⁵⁰⁾が指摘している.

そこで本研究では, 個々のトリップの高速利用の有無をオーナーマスターデータから判定することにより上記の課題を回避することとする. さらに, 高速道路を利用したトリップについては「乗り降りしたインターチェンジ」についてもオーナーマスターデータから把握し, この中から分析対象とする一般道利用区間を特定する. 例えば, 図-8 に示すように「起点を r , 終点を s とする車両 i の高速利用トリップ $f_i^{r,s}$ 」は, 「起点 r から乗インターチェンジ (s^*) までのトリップ f_i^{r,s^*} 」及び「降インターチェンジ (r^*) から終点 s までのトリップ $f_i^{r^*,s}$ 」に分け, トリップ f_i^{r,s^*} とトリップ $f_i^{r^*,s}$ それぞれで走行経路を推計する. 乗インターチェンジ (s^*) 及び降インターチェンジ (r^*) の道路ネットワークデータ上の位置は, それぞれが含まれるゾーンの中心ノードとした. なお 3章(1)a) で述べたとおり, 本研究では一般道区間における交通荷重情報を収集する方法を扱うこととしているため, 高速道路は分析対象としない.

c) 推計結果

(1)d) で作成したトリップ OD を (2)a) 及び b) に示した方法を用いて千葉県全域の道路ネットワークに配

分して走行経路及び各リンクの交通量を推計した。このうち、分析対象とする千葉県南部地域における結果を図-9に示す。

大型貨物車のトリップについて検討対象エリア内の値を集計した。この結果、総走行距離 (L_{all}) は 669,454 km, 橋梁の総通過回数 (N_{bridge}) は 249,579 回となった。なお、本研究で用いた交通量配分手法の特徴は大型車の経路探索にあり、この経路選択の妥当性については筆者らの既往研究³⁸⁾で検証済である。

(3) 交通荷重の推計

(2)の推計結果より、大型貨物車の 51,210 トリップについての道路ネットワーク上の走行経路が得られた。本節ではこれらのトリップの走行経路上の交通荷重を算定する。

a) 走行時の車両総重量の設定

トリップ OD ペア rs 間を走行する際の大型貨物車 i の車両総重量 W_i^{rs} を設定する。なお、トリップ OD ペア rs 間では荷物の積み降ろしがなく、乗車人員も変化しないことから車両総重量は一定となる。車両重量 (トン) を WV_i , 積載物の重量 (トン) を WF_i^{rs} , 乗車人員重量 (トン) を WP_i^{rs} とすると、走行時の車両総重量 W_i^{rs} は次式で表すことができる。

$$W_i^{rs} = WV_i + WF_i^{rs} + WP_i^{rs} \quad (7)$$

乗車人員重量が車両総重量に占める割合は小さいと思われる。しかし、一般的に車両総重量の算定時には「55kg/人」として乗車人員が考慮されている⁵¹⁾。このため本稿でもこれに倣い、乗車人員重量を含めて車両総重量を算定することとした。

オーナーマスターデータでは「車両重量 (WV_i)」を把握することができない(表-3 参照)。そこで、オーナーマスターデータで把握することができる「最大積載重量 (WM_i)」から車両重量 (WV_i) を推計する方法を考える。主な貨物車販売メーカーの ISUZU⁵²⁾, UD トラックス⁵³⁾, 日野自動車⁵⁴⁾及び三菱ふそうトラック・バス株式会社⁵⁵⁾のホームページに掲載されている大型貨物車の車両諸元表に掲載されている最大積載重量 (WM_i) 及び車両重量 (WV_i) を表-6に示す。これより両者の関係を一次回帰式で求めた。図-10に示すとおり、決定係数は 0.8088 となり両者には高い相関があることが確認された。このため、次式を用いてオーナーマスターデータで把握する個々の車両の「最大積載重量 (WM_i)」から「車両重量 (WV_i)」を推計することとした。

$$WV_i = WM_i \times 0.5454 + 1.6646 \quad (8)$$

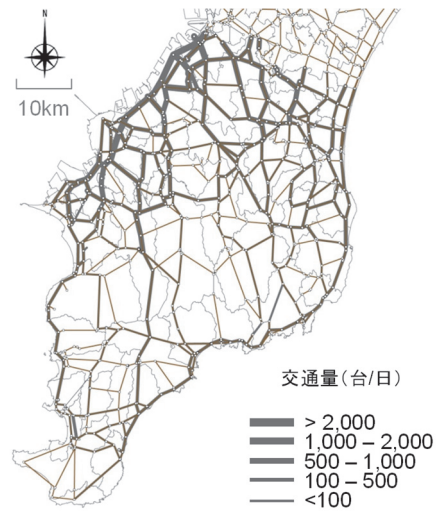


図-9 経路及びリンク交通量の推計結果

表-6 大型貨物車の最大積載重量と車両重量

メーカー	車型	最大積載重量 WM_i (トン)	車両重量 WV_i (トン)
1	ISUZU TKG-FRR90S2-MBYS	4.00	3.57
2	ISUZU TKG-FRR90S2-NDYS	4.15	3.61
3	ISUZU TKG-FRR90S2-NCYS	4.20	3.56
4	ISUZU 前二軸 QKG-CXG77A-XX-D	11.20	8.54
5	ISUZU 8×4 QKG-CYJ77A-WX-D	15.70	9.00
6	ISUZU 6×2 QKG-CYL77A-VX-D	15.90	8.86
7	UDトラックス Condor TKG-MK38LKHHD6	4.05	3.79
8	UDトラックス Condor TKG-LK38LKHHD6	5.70	4.08
9	UDトラックス Condor TKG-LK39NKHHD6	6.30	4.55
10	UDトラックス Condor QKG-PK39LSDHD6	8.60	6.53
11	UDトラックス 6×4 QKG-CW5YLNVDVP	11.00	10.80
12	UDトラックス Condor LDG-PW39LP4HDP	12.60	7.15
13	UDトラックス 6×2 QKG-CV5YBZHVDP 23t	13.00	9.08
14	UDトラックス 8×4 QKG-CG5ZAWHVDQ 25t	15.30	9.45
15	UDトラックス 6×2 QKG-CD5ZAWHVDQ 25t	15.70	9.09
16	日野自動車 SH1EDAG 海コン用	9.20	7.02
17	日野自動車 SH1EDAG	10.10	7.03
18	三菱ふそう QKG-FP54VDR	9.50	7.04
19	三菱ふそう QKG-FS54VZ	13.80	11.10
20	三菱ふそう QKG-FU54VZ	14.10	10.77

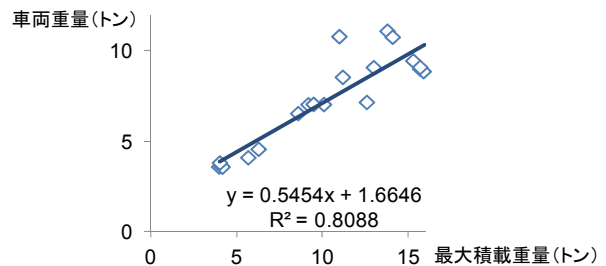


図-10 最大積載重量と車両重量との関係

なお、ここでの車両重量には架装等の重量が含まれていないことには留意が必要である。現状では、多種多様な架装等の重量に関するデータは存在しないことから、式(8)の精緻化は今後の課題としたい。

オーナーマスターデータでは「乗車人員」を把握す

表-7 平均体重の算定

年齢	輸送・機械運転従事者数(万人)		平均体重(kg)	
	男性	女性	男性	女性
15~19歳	0	0	—	—
20~24歳	4	0	66.12	50.01
25~29歳	9	0	66.90	50.54
30~34歳	14	0	68.44	50.99
35~39歳	20	1	69.29	52.22
40~44歳	28	1	69.41	52.75
45~49歳	27	1	69.40	53.15
50~54歳	25	1	69.34	53.00
55~59歳	27	1	67.66	53.34
60~64歳	31	1	65.23	52.93
65~69歳	22	0	63.72	51.65
70~74歳	8	0	62.06	51.19
75歳以上	1	0	61.60	49.89

出典 従業者数：労働力調査⁵⁶⁾ 体重：文部科学省調査⁵⁷⁾

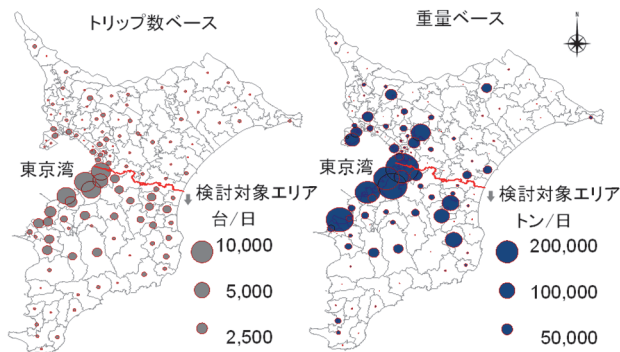


図-11 大型貨物車トリップの分布

ることができるものの「乗車人員重量」は把握できない(表-3参照)。このため、平均的な体重(67.06kg)を「乗車人員(P_i^{rs})」に乗じて「乗車人員重量(WP_i^{rs})」を算定する。ここでの平均的な体重は、表-7に示す「年齢階層別の平均体重」を、「年齢階層別の輸送・機械運転従事者数」で重み付けして算定した。これより次式で「乗車人員重量($WP_{i,rs}$)」を算定する。

$$WP_i^{rs} = P_i^{rs} \times 0.06706 \quad (9)$$

「運行中の積載重量(WF_i^{rs})」はオーナーマスターデータから直接把握することができる。これらをまとめると次のとおりとなる。オーナーマスターデータから「最大積載重量(WM_i)」、「運行中の積載重量(WF_i^{rs})」及び「乗車人員(P_i^{rs})」を把握し、次式で「走行時の車両総重量(W_i^{rs})」を算定する。

$$W_i^{rs} = WM_i + WF_i^{rs} + WP_i^{rs} \\ = (WM_i \times 0.5454 + 1.6646) + WF_i^{rs} + (P_i^{rs} \times 0.06706) \quad (10)$$

オーナーマスターデータでは、各値が「不明(99,999等)」となっているレコードが含まれている。これらの「不明」データを次のとおり補完した。「運行中の

積載重量」が不明のトリップが46(1,213の3.8%, 拡大なしベース)あった。このトリップの「運行中の積載重量」は、「運行中の積載重量」が0,つまり空荷状態で走行しているトリップを除く604トリップの平均(9.682トン)とした。「最大積載重量」が不明の車両は26台あった(394台の6.6%, 拡大なしベース)。これら車両の「最大積載重量」は、5トン未満も含めた普通貨物車及び特殊車のうち「最大積載重量」が不明の車両を除く車両の平均とした。「乗車人員(人)」が不明のトリップは55あった(1,213の4.5%, 拡大なしベース)。これらには、不明を除く1,158トリップの平均1.0863を与えた。

b) 大型貨物車トリップの分布

前項で示した方法を用いて、(1)d)で作成した大型貨物車の51,210トリップでの車両総重量を算定した。トリップの起終点の分布をトリップ数ベースと重量ベースで整理すると図-11のとおりとなった。京葉臨海工業地帯のある東京湾岸部を起終点とするトリップの割合が大きい。

c) 交通荷重の推計

(2)で推計した個々の車両の「走行経路」に、対応する車両の「車両総重量(a)で示した方法で設定)」を与えることにより、走行経路上の交通荷重を推計する。1章で述べたとおり本研究では「重量車両が道路構造物に与えるダメージに関する基礎情報」を把握する方法を扱う。このダメージは、重量の4乗(舗装)及び12乗(橋梁)に比例して指数関数的に増加することが知られている。例えば「舗装が受けるダメージは荷重の4乗に比例して指数関数的に増加する」という、いわゆる4乗則が舗装の技術基準⁵⁸⁾に示されている。橋梁については、荷重の大小による影響の違いが顕著である。松井ら^{59),60),61)}や長谷ら⁶²⁾は、供試体が破壊に至るまでの走行回数と載荷荷重せん断強度比との関係を実験により求め、橋梁が受けるダメージは荷重の12乗に比例することを示している。また、中谷らの研究⁶³⁾や米国における研究⁶⁴⁾では、荷重の18乗に比例することを示している。このため交通荷重には、「車両総重量」そのものではなく、これを4乗則または12乗則により「車両総重量の一般的制限値(20トン)を基準にして換算した重量(以下「換算重量」という。)」を用いる。例えば車両総重量24トンの車両の換算重量は、交通荷重算定の対象を舗装とする場合は41.5トン(=20トン×(24/20)⁴)、橋梁とする場合は178.3トン(=20トン×(24/20)¹²)となる。なお、上記の4乗則や12乗則での換算を行う場合、通常は標準荷重に換算した「輪数」を用いることが一般的である。しかし本稿では、提案する方法で収集可能な「交通荷重情報の量」に着目した分析を

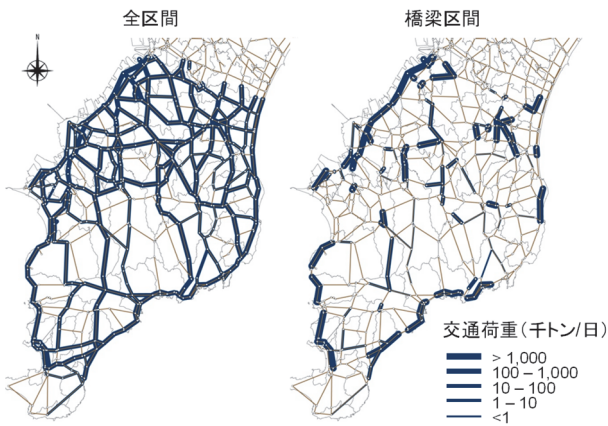


図-12 道路ネットワーク上の交通荷重

行うことから、直感的に荷重の量を表現する「トンキロ」または「トン回」を用いることとした。さらに、車両の総重量が大きくなると輪数も増加するため、本来であれば上記の換算は、対応する輪数を用いて行うことが望ましい。しかしながら、オーナーマスターデータでは、個々の車両の輪数を把握することができない。このため、本研究では簡便的に輪数が一定であるとして換算を行った。以上より、ODペア rs の経路 m における個々の車両の交通荷重（全区間： $D_{all,i}^{rs,m}$ ，橋梁区間： $D_{bridge,i}^{rs,m}$ ）を次式により算定した。

$$D_{all,i}^{rs,m} = \sum_{a \in L^{rs,m}} \frac{(W_i^{rs})^4}{20^3} \times l_a \quad (11)$$

$$D_{bridge,i}^{rs,m} = \sum_{a \in L^{rs,m}} \frac{(W_i^{rs})^{12}}{20^{11}} \times \delta_a^B \quad (12)$$

ここで l_a はリンク a ($\in L^{rs,m}$) の延長 (km)． δ_a^B はリンク a が橋梁リンクである場合を 1 とするダミー変数である。交通荷重の推計結果を図-12 に示す。交通荷重の総量は、交通荷重_{全区間} (D_{all}) = 27,585,303 トンキロ、交通荷重_{橋梁区間} (D_{bridge}) = 16,544,637,775 トン回と推計された。

4. 車重計の適切な配置方法

本章では 3 章で推計した「検討対象エリアにおける全ての大型貨物車についての走行経路及び交通荷重」を用いて、「交通量，経路，重量を指標とした複数の配置方法の効率性を評価し，車重計の適切な配置方法に関する知見を得る（研究目的 1）」ことを目的とした分析を行う。まず(1)では，配置方法の効率性を評価する指標を定義する。(2)では評価対象とする複数の配置方法を定義する。(3)では(2)で定義した

配置方法により，検討対象エリアにおける車重計の配置箇所を選定を行う。(4)では(1)で定義する指標などを用いてそれぞれの配置方法の効率性を評価する。

(1) 配置方法の効率性の評価指標の定義

1 章で述べたとおり，少ない車重計で多くの交通荷重情報を収集できる箇所に車重計を配置することが望ましい。そこで「車重計で収集できる交通荷重情報の量」つまり「車重計を通過する車両の交通荷重情報の量」が「交通荷重情報の総量」に占める割合を「車重計カバー率」と定義し，これを用いて配置方法の効率性の評価を行うこととする。本研究では「舗装」及び「橋梁」における交通荷重情報を収集対象とする。このため車重計カバー率は，道路ネットワーク全体の舗装を対象とする「車重計カバー率_{全区間}」と橋梁区間のみを対象とする「車重計カバー率_{橋梁区間}」の 2 つを設定し，それぞれ次式により算定する。前者は，各車両の走行台キロ×換算重量（4 乗則）で表す「トンキロ」，後者は橋梁の通過回数×換算重量（12 乗則）で表す「トン回」をベースに算定する。

$$R_{all}(u) = \frac{D_{all}(u)}{D_{all}} \quad (13)$$

$$R_{bridge}(u) = \frac{D_{bridge}(u)}{D_{bridge}} \quad (14)$$

ここで $R_{all}(u)$ 及び $R_{bridge}(u)$ は検討対象エリアに配置する車重計の数が u のときの車重計カバー率_{全区間} 及び車重計カバー率_{橋梁区間} である。 $D_{all}(u)$ 及び $D_{bridge}(u)$ は車重計の数が u のとき，車重計を通過する車両の交通荷重_{全区間} 及び交通荷重_{橋梁区間} である。

(2) 車重計の配置方法 I~III の定義

1 章で述べたとおり研究目的 1 は，「交通量」といった地点毎の簡易的な情報に基づいて箇所選定を行う場合と「経路」「重量」のような個々の車両に関する詳細な情報に基づいて箇所選定を行う場合とで「収集できる交通荷重情報の量」にどの程度の差が生じるかを明らかにするものである。そこで本節では，表-8 に示す 3 つの配置箇所の選定方法を定義する。配置方法 I は地点毎の「交通量」，配置方法 II は「経路情報」，配置方法 III は経路情報に加えて各車両の「重量」に関する情報に基づいて車重計の配置箇所の選定を行う。つまり，配置方法 I から III の順に，より詳細な「走行車両に関する情報」が必要となる。

図-13 に示す仮想的な交通状況を例にして，各方法で配置箇所がどのように選定されるかを示す。道路ネットワーク上には 5 台の車両のみが走行してい

表-8 配置方法 I~III

		走行車両に関する情報 詳細		
		交通量	走行経路	車両重量
配置方法I	通過車両の「交通量」の多いリンクから順に配置	○		
配置方法II	通過車両の「走行距離の和」の大きいリンクから順に配置		○	
配置方法III	通過車両の「走行トンキロ」の大きいリンクから順に配置		○	○

表-9 仮想的な交通状況での車重計の配置

車両重量 W (トン)	換算重量 W^* (トン)	走行距離 L (km)	走行トンキロ $L \times W^*$	箇所 A	箇所 B	箇所 C
車両1	16.0	8.2	10	81.9	捕捉	
車両2	16.0	8.2	10	81.9	捕捉	
車両3	16.0	8.2	40	327.7	捕捉	捕捉
車両4	22.0	29.3	40	1,171.3		捕捉
車両5	22.0	29.3	30	878.5		捕捉
計	92.0	83.1	168	2,541.3		
■ 配置方法I : 捕捉できる車両の総数				3台	2台	2台
■ 配置方法II : 捕捉できる車両の総走行台キロ				60	80	70
■ 配置方法III : 捕捉できる車両の総走行トンキロ				492	1,499	2,050
車重計カバー率				19.3%	59.0%	80.7%

重量 (W) : 車両総重量
換算重量 (W^*) : 車両総重量 (W) を4乗則で換算した重量 ($= (W/20)^4 \times 20$ トン)

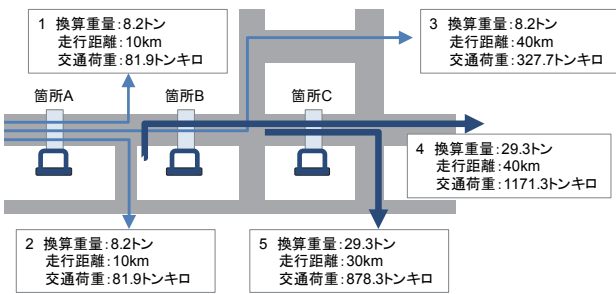


図-13 仮想的な交通状況

るとし、車両 i の「走行距離 L_i (km)」及び「車両総重量 W_i (トン)」, 「換算重量 $W^*_i (= (W_i/20)^4 \times 20$ トン)」並びにこれらの積で得られる「交通荷重 (トンキロ) ($= L_i \times W^*_i$)」を表-9に示す。交通荷重の総量は2,541.3 トンキロである。

配置方法 I は、トラフィックカウンター等で計測する地点毎の「交通量」の大きい箇所から順次車重計を配置していくものである。図-13のケースでは、交通量が最大の箇所 A (3台) が1つ目の車重計の配置箇所として選定される (箇所 B 及び箇所 C の交通量は2台)。

配置方法 II は、「個々の車両の走行経路」を推計することにより、捕捉できる車両の「走行距離 (走行台キロ)」の総和を最大とするように車重計を順次配置していく。図-13のケースでは、箇所 B で捕捉できる車両数 (2台) は箇所 A (3台) より少ない。しかし走行距離の長い車両 (それぞれ 40km) を捕捉することから、捕捉する車両の走行台キロが最大 (80km)

である。このため配置方法 II では、箇所 B が1つ目の車重計の配置箇所として選定される。

配置方法 III は、推計された走行経路に「車両重量」の情報を付加することにより、走行距離と換算重量の積で表される「走行トンキロ」を最大にするように車重計を順次配置していく。走行距離だけでなく重量を考慮することから、疲労損傷への影響が大きい車両を効率的に捕捉できる箇所に車重計を配置することができる。図-13のケースでは、箇所 C (2,050 トンキロ) が1つ目の車重計の配置箇所として選定される。

箇所 A、箇所 B 及び箇所 C に車重計を1つ配置する場合、車重計カバー率はそれぞれ 19.3%、59.0%及び 80.7%となり、箇所 C に車重計を配置すると最大の車重計カバー率が得られる。このことから、箇所 C を配置箇所を選定した配置方法 III が最も優れた配置方法である。また配置方法 III を用いて配置箇所の選定を行うことで、「箇所 A を選定した配置方法 I」の 4.18 倍 (80.7%/19.3%) , 「箇所 B を選定した配置方法 II」の 1.37 倍 (80.7%/19.3%) だけ多くの交通荷重情報を収集できるようになる。

以下、配置方法 I~III の具体的な箇所選定の手順を示す。

a) 全区間を対象とするケース

配置方法 I : リンク交通量の多いリンクから順に車重計を配置。ただし、隣接するリンク等で交通量が同一のリンクが複数ある場合は、このうちの1つだけに配置する。

配置方法 II : 「リンクを通過する車両の走行距離の和」が最大のリンクを探索し、1つ目の車重計を配置。 n 箇所に配置された車重計を通過しない車両を対象に、走行台キロが最大のリンクを探索し、 $n+1$ 個目の車重計を配置 ($n = 1 \sim N_{\max}-1$) 。

配置方法 III : 「リンクを通過する車両の走行トンキロ (=走行距離×換算重量 (4乗則)) の和」が最大のリンクを探索し、1つ目の車重計を配置。 n 箇所に配置された車重計を通過しない車両を対象に、走行トンキロを最大にするリンクを探索。 $n+1$ 個目の車重計を配置 ($n = 1 \sim N_{\max}-1$) 。

b) 橋梁区間のみを対象とするケース

配置方法 I : リンク交通量の多いリンクから順に車重計を配置。ただし、隣接するリンク等で交通量が同一のリンクが複数ある場合は、このうちの1つだけに配置する。

配置方法 II : 任意のリンクを通過する車両の走行経路から、「ネットワーク上の橋梁の総通過台数」を最大にするリンクを探索。このリンクに1つ目の車

重計を配置. n 箇所配置された車重計を通過しない車両を対象に, “ネットワーク上の橋梁の総通過台数”を最大にするリンクを探索し, $n+1$ 個目の車重計を配置 ($n = 1 \sim N_{\max}-1$).

配置方法 III: 任意のリンクを通過する車両の走行経路から, 「ネットワーク上の橋梁の換算重量 (12 乗則) の和」を最大にするリンクを探索. このリンクに 1 つ目の車重計を配置. n 箇所配置された車重計を通過しない車両を対象に, 上記の「換算重量 (12 乗則) の和」を最大にするリンクを探索し, $n+1$ 個目の車重計を配置 ($n = 1 \sim N_{\max}-1$).

(3) 車重計の配置箇所の選定

本節では, (2)で定義した配置方法 I~III を用いて道路ネットワーク上の車重計の配置箇所の選定を行う. 3 章(2)で示した大型貨物車の走行経路の推計結果を見ると, 検討対象エリアにおける道路ネットワークを構成する 1,041 の単路部リンクのうち 565 リンクを大型貨物車が走行している. そこで, この 565 リンクを車重計配置の候補箇所とし, 車重計カバー率が 100%, つまり検討対象エリアにおける全ての交通荷重情報を収集できるようになるまで配置方法 I~III を用いて箇所選定を行った. なお, 交通量推計結果には誤差が含まれていること, 自動車 OD は日々変動していることを勘案すると, 実際には全ての交通荷重を把握することが困難であることには留意が必要である.

対象を「全区間 (舗装)」とするケースでの 1~3 箇所までの選定結果を以下に示す. (2b)に示した箇所選定の手順に従い, 配置方法 I~III それぞれで 1 箇所目の配置箇所の探索を行った. この結果 3 つの方法ともに「国道 16 号上のリンク (図-14 の「☆」)」が選定された. このリンクに配置する車重計で捕捉できる車両の交通量及び交通荷重 (リンク単位の集計値) を同図に示す. この際の実車重計カバー率全区間 ($R_{all}(1, 1.00)$) は 55.09%となる. つまり, このリンクに車重計を配置することで, 検討対象エリアにおける交通荷重の総量 (27.6 百万トンキロ) の半分以上を把握することができるようになる. これは, 図-11 に示したとおり分析対象トリップの多くが東京湾岸部を起点または終点としており, 湾岸沿いの主要幹線道路である国道 16 号でこれらのトリップを効率的に捕捉できるためである.

図-15 は, 1 箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量 (配置方法 I, 配置方法 II) 及び交通荷重 (配置方法 III) を示す. 配置方法 I~III で選定した 2 つ目の配置箇所を「☆」で示す. 図-16 は, 1 箇所目及

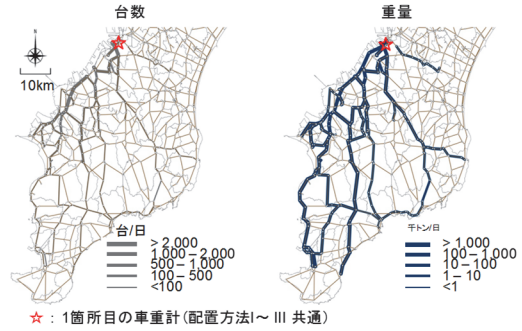


図-14 1 箇所目の車重計で捕捉できる車両の交通量及び交通荷重

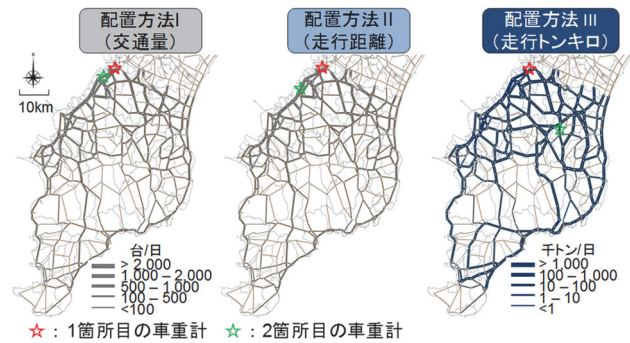


図-15 1 箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量及び交通荷重

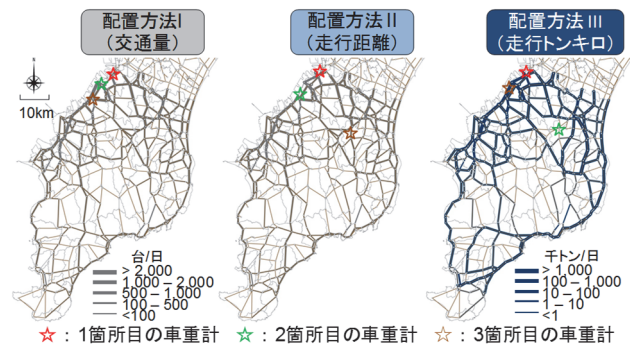


図-16 1 箇所目及び2 箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量及び交通荷重

び 2 箇所目の車重計で捕捉できない車両の交通量 (配置方法 I, 配置方法 II) 及び交通荷重 (配置方法 III) 並びに「配置方法 I~III で選定した 3 つ目の配置箇所 (「☆」)」を示す.

(4) 配置方法の効率性の評価

本節では, 各方法で選定された車重計で得られる車重計カバー率などを用いて, 配置方法 I~III の効率性の比較を行う. なお, 配置方法 III の最適化問題の目的関数は式(13)および式(14)に示す車重計カバー率と 1 次同次であることから, 指標を車重計カバー率として比較を行うと配置方法 III の効率性が最大と

なる。しかし1章(1)で述べたとおり、「重量」や「走行経路」を把握するための調査を必要とする配置方法 III に対し、「地点毎の交通量情報」のみ必要とする配置方法 I や、「走行経路情報」のみ必要とする配置方法 II は、調査の負担が小さくなるというメリットがある。このため本節は、配置方法 III と比較して配置方法 I および配置方法 II で収集できる交通荷重情報の量がどの程度異なるかを明らかにすることを目的とする。

a) 「車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量」に基づく評価

配置方法 I~III を用いて選定した車重計について、配置数と車重計カバー率との関係を図-17 に示す。配置方法 III は上に凸となるカーブを描いている。これは「車重計の配置数」が増加するにつれて「車重計カバー率の増加量」が小さくなっていることを表している。つまり配置方法 III では、初期の段階から効率的に交通荷重情報を収集できる箇所が選定されていることがわかる。これに対し配置方法 I や配置方法 II では、車重計の配置数が増加しても、車重計カバー率があまり増加しないところ（グラフが水平に近い箇所）がいくつか見られる。

前節で示したとおり、配置方法 I~III とともに1つ目の配置箇所は同じリンクが選定された。つまり、1つの配置箇所を選定する際には、配置方法 I~III に差はない。しかし、2つ目以降は異なる箇所が選定されている。以下、これらを対象に、配置方法 I~III における車重計カバー率の変化を比較する。

図-17 より、車重計の追加配置に伴う車重計カバー率の増加量を算定すると図-18 及び図-19 のとおりとなる。配置方法 III では、2箇所目の車重計を配置すると車重計カバー率_{全区間}は、55.09%から65.24%まで10.15ポイント増加する。3箇所目以降の増加量は、8.16ポイント、5.27ポイント、5.02ポイントと漸減している。これは、効率的に交通荷重情報を収集できる箇所が順に選定されていたことを示す。

一方、配置方法 I では2箇所目の車重計を配置する際の車重計カバー率_{全区間}の増加量は3.20ポイント(55.09%→58.29%)に留まる。さらに、3箇所目以降に、車重計カバー率_{全区間}の増加量がこの値(3.20ポイント)を超えるケースが6回見られる(3箇所目5.05ポイント増加、12箇所目4.17ポイント増加、24箇所目5.72ポイント増加等)。

配置方法 II では、2箇所目及び3箇所目に配置する車重計による車重計カバー率の増加量は、配置方法 I と同程度であった(2箇所目8.16ポイント増加、3箇所目10.15ポイント増加)。また、4箇所目から

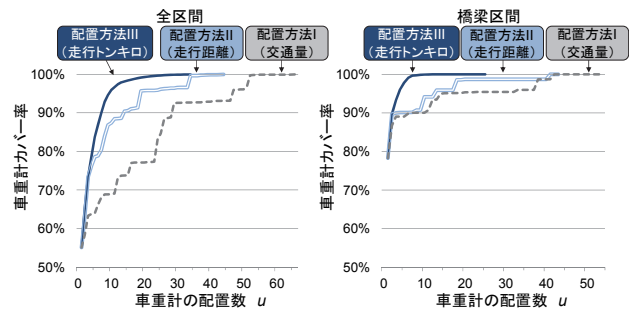


図-17 車重計の配置数と車重計カバー率との関係

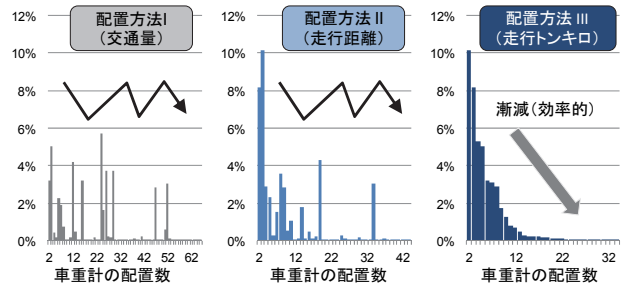


図-18 車重計カバー率の増加量 (全区間)

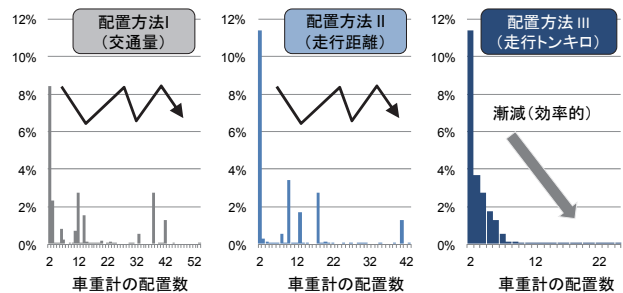


図-19 車重計カバー率の増加量 (橋梁区間)

6箇所目までの「車重計カバー率_{全区間}の増加量」は2.87ポイント、2.32ポイント、0.26ポイントと減少していた。ところが、7箇所目、8箇所目では、車重計カバー率_{全区間}の増加量はそれぞれ1.53ポイント、3.60ポイントとなり、4箇所目での増加量(2.87ポイント)を上回った。これは、配置方法 I 及び配置方法 II では、最適な順序で配置箇所が選定されていないことを示すものである。

b) 「1箇所あたりの車重計カバー率」に基づく評価

車重計カバー率90%の達成に必要な車重計の配置数(u)を図-20に示す。これより車重計1箇所あたりの車重計カバー率(90%/u)を算定したものを図-21に示す。例えば、車重計カバー率_{全区間}90%を達成するには配置方法 I を用いると29の車重計が必要となり、1箇所あたりの車重計カバー率_{全区間}は「3.1%/箇所」(=90%/29箇所)となる。これに対し配置方法 II 及び III を用いて車重計の配置箇所を選定すると、1箇所あたりの車重計カバー率_{全区間}はそれ

ぞれ「6.4%/箇所」、「12.9%/箇所」となる。これは、配置方法 I と比較して、配置方法 II では 2.07 倍 (=6.4/3.1), 配置方法 III では 4.14 倍 (=12.9/3.1) だけ効率的に交通荷重情報を収集できる箇所が選定されていることを示している。

橋梁区間のみを対象とする場合には配置方法間での効率性の差が小さい (配置方法 II は配置方法 I の 1.75 倍 (=22.5/12.9), 配置方法 III は 2.3 倍 (=30.0/12.9))。これは 3 章(1)c)で示したように、橋梁リンクの数 (181) が単路部リンクの数 (1,014) より少ないため、全区間を対象にする場合に比べて配置方法 III を用いることの効果が相対的に小さいためである。

c) 「新規に車両を捕捉できる割合」に基づく評価

「既に配置した車重計を通過していない車両」をより多く捕捉できる箇所に車重計を配置すると、より効率的に交通荷重情報を収集することができる。そこで、 u 箇所目 ($2 \leq u \leq 34$) に配置する車重計で捕捉できる車両数を $Q(u)$, このうち既に配置された $u-1$ 箇所の車重計で捕捉されている車両数を $Q^*(u-1)$ とし、次式で表す指標を用いて配置方法 I~III の効率性を比較する。

$$RQ(u) = \frac{Q(u) - Q^*(u-1)}{Q(u)} \quad (15)$$

$RQ(u)$ は「 u 箇所目の車重計で捕捉する車両のうち、 $u-1$ 箇所の車重計を通過していない車両の割合」を表す。指標の算定結果を図-22a に示す。また、これらの平均 (車重計の配置数 10 未満の平均及び全体 (配置数 34) の平均) を図-22b に示す。

配置方法 II 及び配置方法 III の値は、配置方法 I より大きい。つまり、配置方法 II 及び配置方法 III で選定された箇所では、既設の車重計で捕捉された車両が含まれる割合が小さい。特に、車重計の配置数が少ないケースでの差が大きい。例えば、配置数 10 未満での $RQ(u)$ の平均は、配置方法 I : 0.118, 配置方法 II : 0.549, 配置方法 III : 0.651 となっている。この結果は、既存の車重計を通過していない車両を新規に捕捉するという点で、配置方法 II 及び配置方法 III は、配置方法 I と比較してそれぞれ 4.7 倍 (=0.549/0.118) 及び 5.5 倍 (=0.651/0.118) 効率性に優れることを示している。

これは、配置箇所を選定する際に「走行経路情報」を用いるか否かの違いに起因する (表-10 参照)。配置方法 II 及び配置方法 III では、走行経路情報に基づいて「既に配置された $u-1$ 箇所の車重計を通過するか否か」の判定を各車両について行い、車重計を通過していない車両のみを対象に u 番目の配置箇所を選

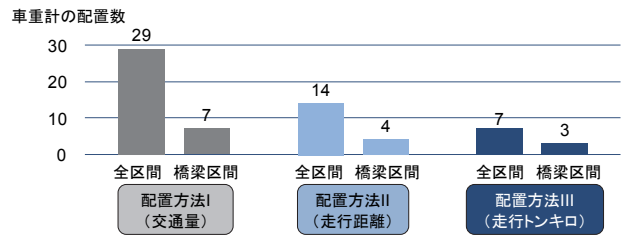


図-20 車重計カバー率 90%達成に必要な車重計の配置数

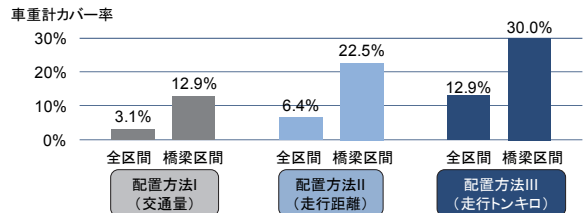


図-21 車重計 1 箇所あたりの車重計カバー率 (車重計カバー率 90%時)

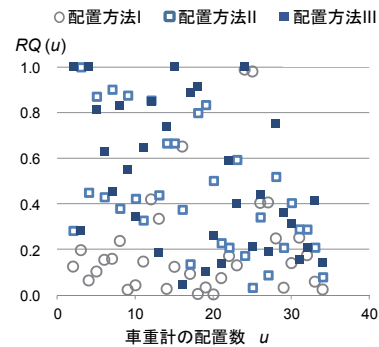


図-22a 既存の車重計の非通過車両を新規に補足できる割合

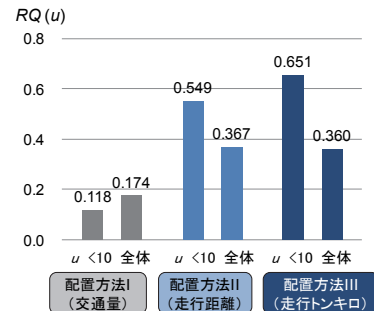


図-22b 既存の車重計の非通過車両を新規に補足できる割合 (平均)

定している。これに対し走行経路情報を用いない配置方法 I では、車両が既存の車重計を通過したか否かにかかわらず、単純にリンク交通量に基づいて配置箇所を選定しているためである。

この結果より、次の知見が得られた: 配置箇所を選定時に「走行経路情報」を用いることにより、「既存の車重計を通過していない車両を新規に捕捉できる割合」が 5 倍程度大きくなる (配置数が 10 箇所未満)。

5. 逐次決定と同時決定の比較

本章では「研究目的2: 逐次決定と同時決定とで得られる交通荷重情報の量を比較し、逐次決定により箇所選定を行うことの妥当性を確認する」ことを目的とした分析を行う。まず(1)では「逐次決定」と「同時決定」による箇所選定の具体的な方法を示す。(2)では(1)で示す方法を用いて同時決定による箇所選定を行い、車重計カバー率などを比較することにより、逐次決定で箇所選定を行うことの妥当性を確認する。なお本章では最も効率性に優れた配置方法IIIを用いる。

(1) 逐次決定と同時決定による箇所選定方法

本節では、車重計配置の候補箇所 N のうち u 箇所 ($u \geq 2$) に車重計を配置するケースを例に、「逐次決定」と「同時決定」による箇所選定の方法を示す。

a) 逐次決定

ステップ1: 配置候補の N 個のリンクそれぞれについて、 I_{all} (リンクを通過する車両の走行トンキロ (=走行距離×換算重量) の和) を算定し、これが最大のリンクに1箇所目の車重計を配置する ($n=1$)。ステップ2: 車重計が配置されていない $N-n$ 個のリンクそれぞれについて「 n 箇所に配置された車重計」を通過しない車両を対象に I_{all} を算定し、これが最大となるリンクに $n+1$ 個目の車重計を配置する。ステップ3: $n+1=u$ であれば終了。他は $n=n+1$ としてステップ2に戻る。

b) 同時決定

配置候補の N 個のリンクのうち「 u 箇所に車重計を配置する組合せ ($={}_N C_u$)」それぞれについて I_{all} を算定し、これが最大となる「 u 箇所の組合せ」に車重計を配置する。

(2) 逐次決定と同時決定の車重計カバー率の比較

a) 比較対象の配置数

同時決定では計算量が膨大となるため、限られた数の車重計を配置するケースを対象に逐次決定と同時決定の比較を行うこととする。図-17を見ると、車重計を6箇所に配置する際の車重計カバー率は86.90%で、これに1箇所追加しても車重計カバー率は3.08ポイントしか増加しない(86.90%→89.98%)。実務において、既に86.90%の交通荷重を把握している状態から3.08ポイント増加させるために車重計を追加配置することは考え難い。このため、車重計の配置数 u を2, 3, 4, 5及び6とする5つのケースを対象とする。

表-10 逐次決定及び同時決定での配置箇所の組合せ

配置数	配置方法	配置箇所 (リンク番号)	車重計カバー率 (同時決定1位との差)
$u=2$	逐次決定	1 241	65.24% (0.00%)
	同時決定	1位 1 241	65.24%
		2位 1 3	63.25%
$u=3$	逐次決定	1 3 241	73.40% (0.00%)
	同時決定	1位 1 3 241	73.40%
		2位 1 13 241	73.02%
$u=4$	逐次決定	1 3 241 523	78.67% (0.00%)
	同時決定	1位 1 3 241 523	78.67%
		2位 1 13 208 241	78.59%
$u=5$	逐次決定	1 3 208 241 523	83.69% (0.166%)
	同時決定	1位 1 13 208 241 523	83.86%
		2位 1 3 208 241 523	83.69%
$u=6$	逐次決定	1 3 26 208 241 523	86.90% (0.037%)
	同時決定	1位 1 13 181 208 241 523	86.94%
		2位 1 3 26 208 241 523	86.90%

同時決定でのハイライト表示は「逐次決定での選定箇所と同じ箇所 (リンク番号)」を示す。

b) 分析方法

4章において、配置方法IIIで選定された34箇所(リンク)に車重計を配置すると車重計カバー率が100%となる。このため本章では、これら34リンクを車重計配置の候補箇所とする。(1)に示した方法を用いて、車重計の配置数 u を2, 3, 4, 5及び6とする5つのケースそれぞれで、同時決定による配置箇所の組合せを選定して車重計カバー率を算定した。逐次決定については、4章での算定結果を用いる。

(3) 分析結果

逐次決定による車重計カバー率と、同時決定による車重計カバー率の上位3つを表-10に示す。配置数 $u=1\sim4$ のケースでは「同時決定で得られる最大の車重計カバー率」と「逐次決定での車重計カバー率」は全て一致した。これに対し配置数 $u=5$ 及び $u=6$ のケースでは「逐次決定での車重計カバー率」は「同時決定の最大の車重計カバー率」より小さい値となった。ただし両者の差を見ると、配置数 $u=5$ では0.166ポイント(逐次: 83.69%, 同時: 83.86%), $u=6$ では0.037ポイント(逐次: 86.90%, 同時: 86.94%)と極わずかである。これは、検討対象エリアにおいて6箇所程度までの箇所選定を行う場合、逐次決定を用いても同時決定と同等の車重計カバー率を得ることができることを示唆している。

6. まとめ

本研究は、走行車両の「重量データ」と「位置データ」とを関連付けて道路構造物損傷の主要因である「大型貨物車の交通荷重」を把握する施策の展開に必要な「車重計の配置方法」に関する知見を得る

ことを目的に分析を行った。なお、上記の施策は図-3に示すとおり、より少ない車重計でより多くの交通荷重情報を効率的に収集することができる「半島地域」での適用を想定したものである。このため、3章、4章および5章での分析は千葉県南部の半島地域を対象に行った。しかし、これらの分析方法は半島地域以外でも適用可能である。例えば図-3において「不適」としたエリアにおいてもエリア外-エリア外の通過交通を対象にした交通量配分を行うことでネットワーク上の交通量を推計することができる。以下、得られた知見及び課題を述べる。

(1) 得られた知見

a) 車重計の配置方法

4章では「配置方法の効率性の評価」を行う指標として車重計カバー率を定義するとともに、以下に示す3種類の「車重計の配置方法」を示した。配置方法I: 交通量の多い箇所から順次配置。配置方法II: 個々の車両の走行経路を推計し、捕捉できる車両の「走行距離の和」を最大にするように順次配置。配置方法III: 推計された走行経路に「車両重量」の情報を付加することにより、捕捉できる車両の「走行トンキロ(走行距離×換算重量)の和」を最大にするように順次配置。

各方法で配置箇所の選定を行い「車重計の配置数」と「車重計カバー率」との関係性を分析した結果、車重計の配置方法に関して次の知見を得た。

- ・車重計を1つだけ配置する箇所を選定する場合、配置方法I~IIIに差はない。
- ・車重計カバー率_{全区間}90%を達成することを目指す場合、配置方法Iを基準にして、配置方法IIでは2.07倍、配置方法IIIでは4.14倍だけ多くの交通荷重情報を収集できる箇所を選定することができる。
- ・配置箇所の選定時に「走行経路情報」を用いることにより、「既存の車重計を通過していない車両を新規に捕捉できる割合」が5倍程度大きくなる(配置数10箇所未満)。

以上より、1箇所に車重計を配置する場合は、交通量のみを調査し、これに基づき箇所選定を行うことができるものの、複数箇所に車重計を配置して90%程度の車重計カバー率を達成しようとする、個々の車両の走行経路上の交通荷重を推計し、これに基づき箇所選定を行うことが望ましいことを示した。これは、必要となる調査事項も含め、実務者が車重計の配置箇所を選定する際の有用な知見であると考えられる。

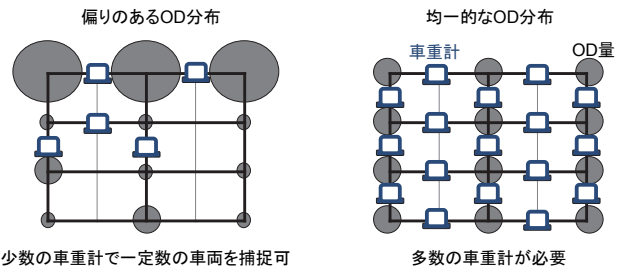


図-23 OD分布と車重計配置のイメージ

b) 逐次決定と同時決定の比較

5章では、逐次決定と同時決定を用いて「検討対象エリアにおける車重計の配置箇所の選定(2~6箇所)」を行った。この結果、逐次決定でも同時決定と同等の車重計カバー率を得ることができることを確認した。これは、道路ネットワークやODの状況が変化しないという条件下でも、逐次決定を用いて車重計の配置箇所を決定することができることを示唆しており、実作業での計算手法に関する有益な知見を提供することができたと考える。

(2) 配置方法についての課題

実務への適用を念頭に、配置方法についての本研究の課題と今後必要と考える研究事項を述べる。

a) 逐次決定と同時決定の比較

5章では検討対象エリアにおいて6箇所までの箇所選定を行う場合、「逐次決定」と「同時決定」とで得られる車重計カバー率に差がないことを示した。しかし、本研究における検討対象エリアの特殊性を考慮した上でこの結果を扱う必要がある。図-11に示したとおり、本章での検討対象エリアでは京葉臨海工業地帯など東京湾沿いを発着する重量車両の割合が大きく、OD分布に大きな偏りが見られる。この場合、ODが均一に分布している場合と比べると、一定数の車両を捕捉するために必要となる車重計が少なく済む(図-23)。つまり、車重計の配置箇所の選択肢が少なく、これにより、逐次決定を用いても同時決定と同程度の車重計カバー率を得られるという結果になった可能性がある。今後、道路ネットワーク構造やODの分布が異なるエリアを対象に「逐次決定」と「同時決定」による選定箇所や車重計カバー率の差異を分析し、実務において逐次決定による箇所選定を行うことができる条件を特定するなどの研究を行う必要がある。

b) 取締の効率性を考慮した配置方法

本章では「交通荷重情報を効率的に収集する」という観点での車重計の配置方法を示した。しかし、実務で車重計の配置箇所を選定する際には、「取締の効率

性」という観点も考慮する必要がある(例えば、コードライン上に車重計を配置する等)。今後は、「交通荷重情報収集の効率性」及び「重量超過車両検知の効率性」の両者を最大にする配置方法についても研究を行うことが望ましい。

c) 分析対象とする道路

本研究で扱った配置方法は「収集できる交通荷重情報の量を最大にする」ことを目的としていることから、大型貨物車の走行量の少ない市町村道を分析対象としなかった。しかし、これらの構造規格が低い道路は本研究で分析対象とした一般国道と比較して、大型貨物車の1台の走行が道路損傷に与える影響は大きい。このため今後、市町村道についても分析対象に含めた上で、「交通荷重が道路損傷に与える影響の度合い(それぞれの道路の種級区分や構造規格に基づいて設定)」を加味して車重計の箇所選定を行う手法について研究を行うことが望ましい。

d) リンクに着目した配置方法

本研究では「ネットワーク全体」を対象に算定する車重計カバー率を指標に配置方法の検討を行った。ところが、道路の損傷は個々の箇所に蓄積される交通荷重の影響を大きく受ける。このため今後、ネットワーク全体でなく、例えばネットワーク上の重要度の大きな構造物など「特定の箇所(リンク)」において収集可能な交通荷重情報の量を最大にするといった配置方法や、複数の「特定の箇所(リンク)」を対象に、道路損傷の把握に必要なサンプル率以上の交通荷重を把握できるリンクの数を最大にする配置方法などの検討を行うことが望ましい。

e) 車重計の耐用年数を考慮した配置方法

1章で述べたとおり、本研究で扱った施策は、「長期的」に交通荷重情報を収集することを想定したものである。車重計は、舗装や橋梁と比較して耐用年数が小さいことが想定されることから、実運用では車重計の「新設」だけでなく「更新」の費用も考慮して配置方法を検討する必要がある。このため今後、車重計の耐用年数を設定し、これに基づいた更新という事象を含めた車重計のマネジメント方法を研究することが望ましいと考える。

f) 輪数を加味した換算重量の算定

3章(3)c)では、4乗則などにより「車両総重量の一般的制限値(20トン)を基準にして換算した重量」を個々の車両の交通荷重とすることを述べた。しかし、車両の交通荷重は車輪を通じて路面に伝わるため、同じ重量の車両であっても輪数が異なる場合、上記の4乗則による換算重量は異なる。本研究では個々の車両の輪数を設定することが困難であることから、

分析対象の大型貨物車の輪数を同数という想定で換算重量の算定を行った。今後、車両総重量と輪数との関係を明らかにし、個々の車両について総重量から輪数を設定し、この輪数を加味して換算重量を算定する手法を研究していきたい。

(3) 交通荷重情報の収集方法についての課題

本節では本研究で提案している「交通荷重情報の収集方法」についての課題を述べる。

a) 走行速度を考慮した動的軸重の活用

稲野ら⁶⁵⁾は、走行速度が高いと「道路構造物が受けるダメージ」が大きくなることを示唆する実験を行っている。ETC2.0や商用車運行管理サービスでは位置情報に加え、走行速度情報についても把握することができる。しかし現在のところ、速度と道路構造物が受けるダメージとの関係についての十分な知見が得られていないことから、本研究では速度の影響を考慮していない。道路構造物のダメージをより高い精度で把握するためにも、今後の研究展開として次を挙げる。

- ・複数の走行速度と車両重量の組合せの条件下で「道路構造物が受けるダメージ」を分析し、走行速度とダメージとの関係を定量化すること(車両重量カテゴリ毎)。
- ・「重量計を通過する際の速度情報」と「対象とする道路構造物を通過する際の速度情報」を用いて「車重計での計測重量」を補正する手法を構築すること。

b) 収集した交通荷重情報の「サンプル」から「総量」を推計する方法

本研究の分析では、車重計カバー率が100%になるまで配置箇所の選定を行ったものの、実社会では全車両の重量データを得るために十分な数の車重計が配置されることは現実的でない。つまり、図-1で示した方法で収集できるのは、交通荷重情報の「総量」の一部の「サンプル」である。このため今後、OD量(重量ベース)の分布などに基づき、収集した交通荷重情報の「サンプル」から「総量」を推計する方法についての研究を行うことが望ましい。

c) 「車両本体で計測する重量情報」の活用

本研究では、車重計での計測重量を交通荷重情報の基礎情報として用いることを提案した。一方、荷台を支える車軸に設置した装置により、車両本体で積載物の重量を計測する技術の開発が行われている⁶⁶⁾。これを用いると、道路上に車重計を配置することなく、交通荷重情報を収集することが可能になる。今後の技術開発動向、計測にかかる費用、計測精度、計測

情報の信頼性確保等を考慮し、車両本体で計測する重量情報の活用方法についても研究を行うことが望ましい。

謝辞: 筑波大学鈴木勉教授, 谷口守教授, 堤盛人教授から配置方法の分析方法などについて指導いただきました。ここに記して感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 西川和廣: 社会資本ストックの戦略的維持管理とは何か, 国土技術政策総合研究所資料, No. 482, pp. 7-22, 2008.
- 2) 道路橋の予防保全に向けた有識者会議: 道路橋の予防保全に向けた提言, 2008.
- 3) 東京都建設局: 橋梁の管理に関する中期計画・戦略的な予防保全型管理の実現に向けて, p. 11, 2009.
- 4) 西沢俊広: 橋梁・トンネル点検用打音検査飛行ロボットシステムの研究開発, 日本電気株式会社資料, www.jst.go.jp/sip/event/k07/20141105/www/pdf, 2014.
- 5) 国土交通省: 次世代社会インフラ用ロボット現場検証委員会, www.mlit.go.jp/sogoseisaku/constplan
- 6) 国土技術政策総合研究所: 記者発表資料「ロボットで老朽化が進む橋を点検する現場検証を行います」, www.nilim.go.jp/lab/bcg/kisya/journal/kisya20141010-2.pdf
- 7) 国土交通省中部地方整備局: 中部圏インフラ用ロボットコンソーシアム, www.cbr.mlit.go.jp/kensetsuic/robot/
- 8) 西川和廣, 村越潤, 上仙靖, 中島浩之: 橋梁の架替に関する調査結果(III), 土木研究所資料, Vol. 3512, 1997.
- 9) 次村英毅, 村越潤, 麓興一郎: 既設鋼桁橋の疲労損傷度評価法に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 59, No. 1, pp. 265-266, 2004.
- 10) 次村英毅, 村越潤, 麓興一郎: 応力頻度測定結果を基にした既設橋の疲労損傷度の評価に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 58, No. 1, pp. 833-834, 2003.
- 11) 川畑篤敬, 井口進, 内田大介, 松下裕明, 玉越隆史, 石尾真理: 鋼床版橋梁の疲労損傷を対象とした調査点検手法の立案に向けた実橋調査, 第5回道路橋床版シンポジウム論文集, Vol. 5, pp. 241-246, 2006.
- 12) 三木千壽: 鋼橋のメンテナンス, 橋梁と基礎, Vol. 35, No. 8, pp. 50-53, 2001.
- 13) 宮村善保: 「自動車荷重適正化」と道路の老朽化対策, 道路, 2014-12, pp. 66-69, 2014.
- 14) 松井繁之, Ahmed El-hakim: RC床版のひびわれの開閉量による輪荷重の測定に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 35A, pp. 407-418, 1989.
- 15) 石尾真理, 中谷昌一, 玉越隆史, 中洲啓太: 影響線の重ね合わせを用いた WIM システムについて, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 57, No. 1, pp. 1447-1448, 2002.
- 16) 小塩達也, 山田健太郎, 小林直人, 水野良浩: 鋼 I 桁橋の縦桁を用いた Bridge Weigh-in-Motion システムの開発, 構造工学論文集, Vol. 47A, pp. 1083-1091, 2001.
- 17) 小塩達也, 山田健太郎, 若尾政克, 因田智博: 支点反力による BWIM を用いた自動車軸重調査と荷重特性の分析, 構造工学論文集, Vol. 49, pp. 743-753, 2003.
- 18) 森田俊樹, 小塩達也, 深田宰史: 自動車荷重・橋梁・地盤の同期モニタリングとその分析, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 58, No. 1, pp. 1537-1538, 2003.
- 19) 石井孝男, 篠原修二: 東名高速道路の交通荷重測定と荷重特性について, 土木学会論文集, No. 453, pp. 163-170, 1992.
- 20) 石井孝男, 井口忠司, 篠原修二: 東名高速導路における通行車両の連行特性, 土木学会論文集, No. 492, pp. 39-46, 1994.
- 21) Kolev, V. I.: Bridge Weigh-in-Motion Long-term Traffic Monitoring in the State of Connecticut, Masters's Theses of University of Connecticut Graduate School, No. 838, 2015.
- 22) 鈴木啓悟, 佐々木栄一, 三木千壽, 山田均, 高岡愛, 宮崎早苗: 交通状況の自動判別機能を組み込んだ低速車自動車両重量分析システム, 応用力学論文集, Vol. 11, pp. 997-1004, 2008.
- 23) 柳木功宏, 江守昌弘, 野見山尚志, 井上恵介: 特定プローブデータを活用した貨物車交通解析の一事例, 第33回交通工学研究発表会論文集, pp. 251-254, 2013.
- 24) 土屋三智久, 金子玲大, 大井孝通, 河田明博, 笠井厳祐: 貨物車プローブデータを活用した道路整備効果の分析事例, 土木計画学研究・講演集, Vol. 50, CD-ROM (No. 302), 2014.
- 25) 岡英紀, 毛利雄一, 萩野保克: 貨物車関連ビッグデータの活用方法に関する検討, IBS Annual Report 研究活動報告 2014, pp. 74-75, 2014.
- 26) 国土交通省: 第4回(2005年)全国幹線旅客純流動調査 207 生活圏ゾーン.
- 27) Hodgson, M. J.: The location of public facilities intermediate to the journey to work, *Regional Studies*, Vol. 15, pp. 493-506, 1981.
- 28) 齋藤淳, 田中健一, 沼田一道: 利用者の立ち寄り行動に着目した新規店舗の最適立地モデル, 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会アブストラクト集, 2-A-3, pp. 170-171, 2006.
- 29) 鈴木勉: 都市内流動を最小化するフロー需要施設配置モデルを用いた拠点立地に関する考察, 都市計画論文集, Vol. 38, pp. 391-396, 2003.
- 30) 東京都都市圏交通計画協議会: 平成10年東京都市圏パースントリップ調査(総合都市交通体系調査)報告書, 2001.
- 31) 鈴木勉: フロー需要に基づく施設配置モデルと需要構成が施設配置に与える影響, 日本都市計画学学術研究論文集, Vol. 37, pp. 115-120, 2002.
- 32) Hodgson, M. J., Rosing, K. E. and Zhang, J.: Locating vehicle inspection stations to protect a transportation network, *Geographical Analysis*, Vol. 28, pp. 299-314, 1996.
- 33) Hodgson, M. J.: A billboard location model, *Geographical Analysis*, Vol. 22, pp. 270-279, 1990.
- 34) 田中健一, 古田壮宏: 施設の設置コストを考慮したフロー捕捉型配置問題(京王電鉄鉄道網における列車種別を考慮した配置分析), 日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌, Vol. 55, pp. 161-176, 2002
- 35) 財団法人運輸政策研究所: 平成12年大都市交通センサス, 2012.
- 36) 谷口栄一, 則武通彦, 山田忠史, 泉谷透: 物流ターミナルの最適規模及び配置の決定法に関する研究, 土木学会論文集, No. 583/IV-38, pp. 71-81, 1998.
- 37) 山田忠史, 則武通彦, 谷口栄一, 多賀慎: 物流ターミ

- ナルの最適配置計画への多目的計画法の適用, 土木学会論文集, No. 632/IV-45, pp. 41-50, 1999.
- 38) 関谷浩孝, 萩野保克, 剣持健, 前田雅人, 田名部淳: 道路構造に着目した一般道における大型貨物車の経路選択モデル, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol. 73, No. 5, pp. 527-536, 2017.
- 39) Sekiya, H., Uesaka, K., Matsumoto, S. and Furukawa, M.: Transport characteristics and road structure factors influencing container truck route selection, *Proceedings of the International Conference on Transport and Logistics (T-LOG)*, Vol. 3, 2010.
- 40) 国土交通省: 第8回全国貨物純流動調査 (H17物流センサス), 2008.
- 41) 関谷浩孝, 奥谷正, 小林正憲, 南部浩之: 国内における貨物流動 OD の推計, 土木計画学研究・講演集, Vol. 37, 2008.
- 42) 東京都市圏交通計画協議会: 東京都市圏物資流動調査, <https://tokyo-pt.jp/pd/index.html>
- 43) 吉田禎雄, 原田昇: 均衡配分用 BPR 式パラメータの推計, 土木学会論文集, No. 695/IV-54, pp. 91-102, 2002.
- 44) 毛利雄一, 牧村和彦, 高橋勝美, 松井浩, 趙勝川, 中嶋康博, 井上紳一: 道路交通需要予測の理論と適用, 社団法人土木学会, 2003.
- 45) 高橋勝美, 毛利雄一, 井上紳一: 均衡配分適用における課題と対応, 土木計画学研究・講演集, Vol. 25, 2002.
- 46) 秋山孝正, 安田幸司, 奥嶋政嗣, 椎谷拓也: 都市高速道路乗り継ぎ制における最適設定方法についての研究, 土木学会論文集, No. 751, pp. 13-25, 2004.
- 47) 社団法人日本道路協会: 道路の交通容量, 1984.
- 48) 松井寛, 藤田素弘: 高速道路を含む都市圏道路網における利用者均衡配分モデルの実用化に関する研究, 土木学会論文集, No. 653, pp. 85-94, 2000.
- 49) 雲林院康宏, 藤田素弘, 松井寛: 高速道路転換率モデルを組み込んだ確率的均衡配分の実用化, 土木情報利用技術論文集, Vol. 12, pp. 123-132, 2003.
- 50) 井上紳一, 山口修一, 鈴木裕介, 円山琢也, 森田紳之: 高速道路上の経路選択を考慮した拡張型利用者均衡配分モデルの実証的研究, 土木学会論文集 D3(土木計画学), Vol. 67, No. 5, pp. 779-786, 2011.
- 51) 公益社団法人全日本トラック協会: 車両総重量と積載量, <http://www.jta.or.jp/coho/hayawakari/8.sekisai.html>
- 52) ISUZU: 主要諸元, www.isuzu.co.jp/cv/data/index.html
- 53) UD トラック: 主要諸元, <http://www.udtrucks.com/jajp/service-and-parts/faq/specification>
- 54) 日野自動車: 主要諸元, http://www.hino.co.jp/etc/designs/hino/images/pdf/service/revolve/profia_semi.pdf
- 55) 三菱ふそう: 主要諸元, http://www.mitsubishifuso.com/jp/lineup/truck/super_great/10/specification/
- 56) 総務省: 労働力調査, 2014年就業者統計表, II-A 年齢階級, 職業別就業数, 2014.
- 57) 文部科学省: 平成25年度体力・運動能力調査報告書, p. 62, 2014.
- 58) 社団法人日本道路協会: 舗装の構造に関する技術基準・同解説, 2001.
- 59) 松井繁之: 移動輪荷重を受ける道路橋 RC 床版の疲労強度と水の影響について, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 9, No. 2, pp. 627-632, 1987.
- 60) 松井繁之: 橋梁の寿命予測, 安全工学, Vol. 30, No. 6, pp. 432-440, 1991.
- 61) 石崎茂, 松井繁之: 2方向指示された RC 床版の劣化機構と耐久性評価法に関する研究, 土木学会論文集, No. 738/I-64, pp. 257-270, 2003.
- 62) 長谷俊彦, 上東泰, 安松敏雄: 長支間 PC 床版の移動輪荷重走行疲労試験による耐久性評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 21, No. 3, pp. 259-264, 1999.
- 63) 中谷昌一, 内田賢一, 西川和廣, 神田昌幸, 宮崎和彦, 川間重一, 松尾伸二: 道路橋床版の疲労耐久性に関する試験, 国土技術政策総合研究所資料, Vol. 28, p. 45, 2002.
- 64) Transport Research Board: Effect of truck weight on bridge network costs, *NCHRP REPORT*, Vol. 495, p. 45, 2003.
- 65) 稲野茂, 小塚清, 大城温: ITS を活用した大型車両の重量計測に関する検討, 国土技術政策総合研究所資料, No. 813, pp. 42-43, 2014.
- 66) 小林篤, 上森一範: ローリー車載重量計システム, 大陽日酸技報, Vol. 23, pp. 76-77, 2004.

(2017. 12. 6 受付)

A METHOD OF ARRANGING VEHICLE-WEIGHT MEASURING DEVICES TO COLLECT TRAFFIC LOAD INFORMATION ON A ROAD NETWORK

Hiroataka SEKIYA, Jun TANABE, Masato MAEDA,
Naohisa OKAMOTO and Haruo ISHIDA

The objective of this research is to acquire knowledge of a method of arranging vehicle-weight measuring devices on a road network to efficiently collect information on “the traffic load from heavy vehicles,” which is a major cause of damage to the structures on roads. Three methods of arrangement (arrangement methods in I “traffic volume,” II “traffic path,” and III “traffic path and vehicle weight”) are proposed, and information such as the weight of individual vehicles and the start and end points of trips that have been collected in a road traffic census OD survey is used to compare and analyze the efficiency of the arrangement methods with respect to a real road network in the southern region of Chiba Prefecture. The results show that the amount of information about the traffic load obtained by selecting the locations of the arrangement on the basis of detailed information related to individual vehicles including “paths” and “weight” is generally quadruple that obtained by the method of selecting the locations of the arrangement on the basis of simplified information on each point such as “traffic volume.”